



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



UNIVERSITE DE CAEN NORMANDIE

UFR SEGGAT

Mémoire de Master 2

Economie et Management Publics

Option : Expertise de la Recherche en Economie

Thème

La résilience des économies face aux catastrophes
globales

Encadré par

M. Jean-Sébastien PENTECÔTE

Réalisé par

Nicodème KONE

Année universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Il me tient à coeur, à cette occasion qui m'est offerte ici, d'adresser mes vifs et sincères remerciements à Monsieur Jean-Sébastien PENTECÔTE, qui n'a ménagé aucun effort pour me faire bénéficier d'un encadrement de qualité et qui a su me guider pas à pas avec beaucoup de patience et de bienveillance.

Je voudrais aussi adresser mes vifs remerciements à Madame Isabelle LEBON qui a bien voulu prendre de son précieux temps pour faire partie du jury.

Mes sincères remerciements à tous nos professeurs de l'UFR SEGGAT à l'Université de Caen Normandie, qui ont investi de leur temps pour nous accompagner dans notre quête.

Mes sincères remerciements à vous.

Table des matières

INTRODUCTION	5
1 Résilience et reprise économique	7
1.1 Résilience économique, éléments de définition	7
1.1.1 La résilience face au réchauffement climatique	10
1.2 Résilience économique et rôle des politiques publiques	13
1.2.1 Résilience économique et politiques publiques	13
1.3 La surveillance de la résilience économique	21
1.4 Les reprises types par les Cartes de Kohonen (SOM) et caractéristiques de la résilience	23
1.4.1 Methode de calcul des SOM	23
1.5 Résultat en sortie par les SOM	27
1.6 Les déterminants de la résilience économique à travers les arbres de décision	32
1.7 Tableau de bord de la résilience économique	35
2 Les conséquences socioéconomiques des catastrophes	37
2.1 Nature et impacts socioéconomiques des catastrophes	38
2.2 Les catastrophes naturelles	42
2.2.1 Impact des catastrophes naturelles	43

2.3	Les catastrophes épidémiologiques	45
2.3.1	Brève histoire des grandes épidémies	45
2.3.2	Réchauffement climatique et catastrophes Naturelles	47
2.3.3	Le réchauffement climatique : un risque épidémiologique	56
2.3.4	Introduction aux modèles épidémiologiques SIR	57
2.4	quelle reprise économique pour un développement durable?	65
2.5	La gouvernance de la transition écologique et gestion des catastrophes . . .	67
2.6	Le rôle des politiques publiques dans la transition écologique	68
	CONCLUSION	69
	BIBLIOGRAPHIE	70
A	Annexe : codes programme	73
A.1	Première Etape	73
A.2	Seconde étape	76
A.3	Troisième Etape	78
B	Annexe : tableaux et graphiques	83

INTRODUCTION

D'après la définition du Larousse, une catastrophe fait allusion à un événement qui entraîne de graves bouleversements et qui met des vies en danger. Le Robert lui met l'accent sur le caractère brutal, effroyable et intense d'une catastrophe. De ces deux définitions, nous appréhendons une catastrophe comme étant un événement brusque et brutal mais avec de graves conséquences tant en termes social c'est-à-dire des vies humaines mises en danger ou des personnes affectées, qu'en termes de pertes économiques (baisse de l'activité économique, perte de productivité ou coût de reconstruction).

Comme bouleversement grave, une catastrophe a la particularité de changer de façon importante le cours des événements et par conséquent donne lieu aussi à un changement de comportement tant au niveau individuel des agents économiques (que sont les personnes physiques, les entreprises et les compagnies d'assurance), qu'à un niveau plus global, à toute une économie, voir à un ensemble d'économies. Les catastrophes ont des impacts économiques à court terme comme des chocs sur la demande et/ou sur l'offre des biens avec une répercussion sur les prix. Ils peuvent occasionner des pertes de matières premières comme les récoltes, ou provoquer des goulets d'étranglement dans la chaîne logistique avec pour conséquence une certaine fébrilité sur les marchés financiers. Encore plus grave, les catastrophes peuvent avoir des effets plus durables et plus persistants sur l'activité économique imputables à des destructions de capitaux productifs : destruction d'infrastructure logistiques (ponts, routes) ou de production, entraînant ainsi une baisse significative du niveau potentiel de l'activité économique et par ricochet, la hausse du chômage structurel. Ces facteurs favorisent ainsi la baisse du PIB potentiel. Le phénomène est plus dommageable pour les économies en voie de développement compte tenu de la lenteur des réparations des dégâts à cause des faibles moyens techniques et financiers dont ils disposent. Nous verrons plus loin que l'impact économique des catastrophes diffère selon leur nature. Nous pouvons distinguer selon leurs origines, principalement deux catégories de catastrophes. D'un côté les catastrophes naturelles, qui sont dues aux aléas naturels et plus ou moins indépendants de l'empreinte humaine ; et de l'autre, les catastrophes anthropiques qui sont eux directement liés à l'activité humaine.

Une crise financière peut être qualifiée de catastrophique dès lors que, même sans aucune destruction de capital productif comme en 2008, déstabilise le système financier suite à l'éclatement d'une bulle spéculative et affecte la sphère réelle de l'économie par le biais des institutions financières qui se contaminent entre elles et affectent ainsi des entreprises qui, pour certaines d'entre elles, plus exposées, devront faire faillite et pour d'autres qui devront se retrouver en difficulté. D'un point de vue social, les crises financières de grande

ampleur entraînent des pertes importantes de revenus pour les ménages. L'intervention de l'Etat, d'une part pour sauver les banques et les entreprises, et de l'autre pour maintenir un niveau de vie pour les ménages n'est pas sans conséquence durable sur les finances publiques.

Face à la survenance d'une crise, les économies ne se comportent pas nécessairement de la même manière. Certaines s'avèrent mieux préparées que d'autres à faire face aux chocs importants et à absorber les déséquilibres économiques occasionnés, tandis que d'autres doivent faire face à une récession durable. Nous verrons plus loin qu'il existe plusieurs profils de reprise économique qui sont le reflet du degré de résilience économique. Il est donc opportun de se poser ici un certain nombre de questions sur l'origine et les caractéristiques de cette résilience économique. Comment peut-on mesurer le degré de résilience d'une économie ? Quels sont ces différents aspects et quels indicateurs choisir ? Quels sont les facteurs qui expliquent une meilleure résilience économique face aux catastrophes ? Dans le but de mieux comprendre le phénomène, nous nous proposons d'apporter quelques éléments de réflexion sur ces questions le long de ce mémoire.

L'un des intérêts de ce mémoire sera donc de non seulement poser une base de réflexion et de discussion sur la question de la résilience économique, en nous basant bien évidemment sur la littérature économique existante en la matière, mais aussi de servir de lanterne pour éclairer un peu plus sur la conduite des politiques économiques à mener face aux différents défis naissants qui s'imposent à l'humanité.

Les périodes de défis majeurs et de crises économiques sont en général des moments où se révèlent les points faibles d'une économie et sont également des périodes propices aux importants changements structurels. Ils représentent des moments où l'ensemble des acteurs de la société réfléchissent, au-delà du fonctionnement habituel et normal de l'économie, à d'autres modèles économiques alternatifs viables dans le temps et appropriés face à la nouvelle situation. Nos économies actuelles font face à plusieurs défis majeurs qui sont ceux du 21ème siècle. La transition énergétique, les menaces et les tournant décisifs que suscitent la révolution numérique, le changement climatique. Là tant de défis majeurs s'imposent à l'humanité aujourd'hui. Ces défis de notre temps sont résumés dans le objectifs de Développement Durable des Nations Unis. La réalisation de ces objectifs appelle les gouvernements, les acteurs du secteur privé et de la société civile à des actions coordonnées.

Ce mémoire sera donc construit autour de deux chapitres : 1- la résilience et la reprise économique, et 2- Les conséquences socio-économiques des catastrophes.

Chapitre 1

Résilience et reprise économique

1.1 Résilience économique, éléments de définition

Avant de venir au concept de la résilience économique, il serait utile pour un départ de faire le point sur le concept même de « résilience ». Il est en un premier temps utilisé en physique pour traduire la résistance de certains matériaux face aux chocs auxquels ils peuvent être exposés, et ensuite de plus en plus utilisé ces dernières décennies dans plusieurs autres disciplines scientifiques comme l'informatique, l'écologie, la psychologie ou encore la sociologie. Il est emprunté du latin « resilio » qui signifie littéralement « rebondir en arrière ». Dans son sens le plus large, il désigne la capacité d'un système dynamique, suite à un choc exogène, de retrouver son état normal de fonctionnement.

En **informatique**, il représente la capacité d'un système ou d'un dispositif informatique à fonctionner dans des conditions extrêmes caractérisées par une panne, par une attaque informatique ou par une augmentation importante du volume de données à traitées. En **écologie**, la résilience a été décrite et théorisée par plusieurs chercheurs dont David Thilman qui établissent une corrélation positive entre la résistance des plantes et la biodiversité dans un milieu donné. La résilience écologique serait donc la capacité d'un écosystème à retrouver son état initial suite à une intervention néfaste d'éléments extérieurs non vivants ou vivants. En **psychologie**, c'est la capacité d'un individu ayant subi un traumatisme, à pouvoir faire face à cette nouvelle situation, à l'accepter, à internaliser et à pouvoir se reconstruire en se dépassant. Par exemple, des travaux en sociologie de Zheng et al. (2016) ont consisté à suivre dans le temps plusieurs enfants exposés à un risque psychiatriques. Ils ont montré qu'au-delà de facteurs exogènes comme le lien parental et l'encadrement, les enfants qui présentaient des caractéristiques de résilience identifiées comme la capacité à rester cohérent, la maîtrise et le contrôle intérieur, la capacité intellectuelle sont significativement ceux qui, à l'âge adulte ont réussi à se construire.

On peut alors définir la **résilience économique** comme étant la capacité d'une économie, suite à une crise, d'amortir les pertes économiques du choc, de rebondir rapidement pour un retour au niveau potentiel et de réduire la vulnérabilité face à de nouveaux chocs à travers le processus d'adaptation et de transformation. L'ONG Oxfam International définit la résilience économique comme «la capacité de gérer les crises de façon proactive et positive, de manière à contribuer à forger un monde plus juste et avec moins de pauvreté». On peut alors se poser la question de la nature de l'état d'équilibre ainsi atteint.

D'abord la survenue d'un choc exogène important génère un déséquilibre. Il s'ensuit alors un processus d'adaptation et de transformation dont l'importance dépend du degré de résilience de l'économie en question et qui conduit à un nouvel équilibre. Si l'impact d'un choc négatif peut engendrer des pertes d'efficacité (par exemple, un choc important sur l'offre ou la demande affecte le fonctionnement des mécanismes de marché à travers l'incertitude et l'instabilité des prix qu'il engendre), le processus d'ajustement (adaptation-transformation) tend lui, à travers un « effet d'apprentissage » à renforcer le système et à améliorer sa capacité à faire face à de nouveaux défis. Pour Reghezza (2006), l'idée qu'après avoir subi un choc qu'un système retourne à l'état initial est quasi impossible et très peu désirable. Pour lui, cela signifierait que le système ne se serait pas adapté et aurait la même vulnérabilité si le même choc se reproduisait. Le nouvel équilibre ainsi atteint après dissipation des effets néfastes du choc est alors relativement plus favorable à moyen et à long terme. Le type de reprise dépend non seulement de la taille et de la catégorie de l'économie considérée (développée, émergent, en voie de développement), mais aussi de la nature des chocs et des canaux de transmission du choc à l'économie.

Prise en compte de l'aspect microéconomique

Afin d'étudier l'impact des catastrophes naturelles par exemple, sur une économie, une autre façon de voir, à côté de l'analyse économique en termes d'équilibre, est de procéder à une analyse microéconomique de l'impact des chocs. En effet, l'analyse en termes d'équilibre nous permet d'observer l'effet moyen des chocs entraînés par les catastrophes naturelles. Nous pouvons ainsi observer l'impact moyen du choc négatif dans le temps : d'abord une période de baisse de la production (phase de récession), suivie d'une période de reprise économique. Sans pour autant observer les mécanismes en œuvre (Hallegatte and Dumas (2010)). Plusieurs questions peuvent dès lors se poser, d'abord sur la durée des périodes de récession et de reprise, sur la vitesse de la reprise, sur l'ampleur de l'écart creusé par rapport au niveau potentiel et enfin, dans l'éventualité d'un nouvel équilibre différent de celui de l'avant choc, sur propriétés de ce nouvel équilibre.

Les économies ne sont pas les mêmes et plusieurs profils de reprise ont fait l'objet d'études

antérieures. En fonction du type de choc, de l'économie (développée, émergente ou en voie de développement) et des politiques publiques mises en place, plusieurs profils de reprise peuvent ainsi être identifiées. Barthélémy et al. (2020) soulignent l'existence de plusieurs profils de reprises dont les principaux sont en V, en U ou en L.

L'analyse microéconomique de l'impact d'une catastrophe naturelle vient en complément afin de permettre une meilleure compréhension des mécanismes mis en jeu. Hallegatte and Dumas (2010) posent deux hypothèses fortes :

- d'abord, les fonctions de productions sont supposées être à rendements constants : appliquer des fonctions de production à rendements décroissants équivaldrait à confondre l'effet d'une catastrophe à un investissement non réalisé compte tenu de son rendement insuffisant,
- ensuite, la prise en compte du temps de reconstruction : il est nécessaire de prendre en compte la contrainte de temps de reconstruction qui représente un coût économique supplémentaire. Le délai de reconstruction équivaut au temps au cours duquel on est privé de l'utilisation de l'infrastructure.

En premier temps, l'impact de la catastrophe à court terme se traduit par un choc négatif (sur la production, si l'on considère une dégradation ou destruction du capital). Certaines réparations demandent de la main d'œuvre qualifiée. Pour des économies développées, ou la gouvernance des catastrophes est bien organisée avec des polices d'assurance (qui couvre toute ou partie des charges, il n'y a pas de problème de financement), et où l'Etat a les moyens d'intervenir si le secteur est crucial pour l'économie. On assiste à une baisse (plus ou moins importante, selon la disponibilité d'autres infrastructures pour prendre la relève). Les reconstructions se font dans les pays développés dans des délais relativement courts et prennent souvent en compte des défis plus récents, ce qui garantit une meilleure productivité et une tendance à dépasser le niveau de production initial. Contrairement aux pays à faible revenu où les services sont souvent dépendants d'une infrastructure, ce qui se traduit par un arrêt (ou une forte baisse) de la production s'il n'existe pas d'autres alternatives, d'où l'écart très important du niveau potentiel suite à une catastrophe. Le recours à une police d'assurance n'est pas systématique, ce qui peut poser un problème de financement de la reconstruction. Le délai de reconstruction représente un coût économique car pendant ce temps, on ne peut bénéficier du service que procure l'infrastructure. Le problème est d'autant plus sérieux s'il se pose un problème de main d'œuvre qualifiée. Ainsi, suite à une catastrophe, certaines économies moins avancées peuvent mettre plusieurs années avant de retrouver leur niveau d'avant la crise. Il existe donc une forme de trappe à pauvreté, un frein au développement dans les économies les moins avancées. Si dans les économies avancées le coût peut être très important en termes

absolus, le poids sur l'économie est relativement faible et la reprise est rapide. Tandis que le coût peut bien être faible dans un pays pauvre mais avec une reprise très lente et difficile.

Il peut exister un effet à double sens entre pertes agricoles et réchauffement climatique. L'agriculture telle pratiquée (surtout dans les pays en voie de développement) expose au réchauffement climatique par les déboisements, la destruction des forêts et dans l'autre sens, l'agriculture est très sensible au changement climatique. Il faut donc penser à l'optimisation de cultures agricoles : en mettant sur pied des programmes de formation afin de maximiser le rendement tout en minimisant l'empreinte sur la nature.

1.1.1 La résilience face au réchauffement climatique

Pour Locatelli (2011), on peut mettre en synergie deux types de démarches : l'adaptation, l'atténuation. A ces deux démarches, nous devons joindre une troisième, à savoir la transformation. **L'adaptation** consiste à se préparer pour une meilleure résilience face aux catastrophes naturelles favorisées par le réchauffement climatique. Prenant en compte sa période de mise en œuvre, une adaptation peut être réactive quand elle intervient après un incident climatique ou anticipative quand elle vise à se prémunir du risque. Quant à **l'atténuation**, il s'agit ici d'un ensemble d'actions visant à ralentir le processus même de réchauffement climatique soit en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, soit en favorisant le développement des « puits à gaz à effet de serre » comme les forêts et certains milieux naturels ou encore en investissant en recherche et développement et en faisant de la science une alliée dans la prévention du réchauffement climatique. Les paramètres de l'atténuation peuvent être mesurés comme par exemple le niveau de pollution.

Suite aux éléments qui précèdent, il apparaît logique de prendre en compte ces chocs sanitaires et climatiques d'un nouveau genre dans les modèles macroéconomiques de base. Contrairement à l'atténuation pour laquelle il a des paramètres objectivement vérifiables, pour l'adaptation il n'y a n'en pas et elle dépend surtout de la situation particulière de chaque pays. Nous pouvons observer qu'il existe un contraste entre pays développés et moins développés en termes de prévision et gestion de catastrophes : le cas du Japon investit énormément dans la prévention des risques sismiques, tandis qu'en Haïti les systèmes de prévention ne sont pas suffisamment développés.

La transformation elle consiste à se réinventer d'une manière structurelle face à la situation qui prévaut afin de rester compétitif dans l'avenir. La transformation porte non seulement sur les modèles économiques (des modes de productions et de consommations plus verts), mais aussi sur l'organisation sociale : l'intégration de toutes les couches sociales, le partage des richesses et la lutte contre les inégalités et toutes les autres formes

d'exclusion afin de se diriger de manière consensuelle et concertée dans la transition verte. Xavier Comtesse et Mathias Baitan décrivent la résilience de façon équivalente dans la Harvard Business Review, la Résilience sera défini par les trois "R" : Résistance + Reset + Relance.

La Résistance étant la capacité qu'à une économie à maintenir sa production et son niveau de chômage proches de leurs niveaux potentiels après avoir subi un choc. C'est le concept qui se rapproche de l'atténuation dans la définition de la résilience. **Le Reset** la capacité à revenir rapidement à son niveau d'avant le choc ayant entraîné le gap de la grandeur macroéconomique cible. Il est d'adaptation et de vitesse de reprise. Et **la Relance** : qui est imposée par le fait que les chocs de grandes ampleurs entraînent en général des changements irréversibles, de nouveaux défis à prendre en compte. C'est l'opportunité de se restructurer afin de rebondir dans le contexte d'après le choc. L'idée est ici de se réarmer afin de pouvoir contre-attaquer. C'est ici l'idée d'une transformation qui va permettre une meilleure résilience future.

On peut noter l'espérance d'apparition d'une catastrophe sur une période : $\int_{-\infty}^{+\infty} x.f(x) dx$. Avec x , l'intensité des dégâts suite à la catastrophe et $f(x)$ sa probabilité d'apparition qui suit une distribution de Poisson :

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}.$$

On va supposer qu'à court terme on ne peut agir sur la probabilité d'apparition de la catastrophe, mais il peut être possible de réduire l'impact x du choc en investissant un montant I qui peut permettre de réduire le coût d'une catastrophe d'un montant donné. On peut alors investir si l'espérance des dégâts évités (la somme) sur la durée de vie de l'investissement est supérieur au montant investi I .

Risque et vulnérabilité, éléments de définition

La vulnérabilité désigne la sensibilité, l'exposition à un danger, c'est-à-dire la propension à subir les effets néfastes d'un danger dans l'éventualité de sa réalisation. Deux approches de la vulnérabilité sont généralement admises, la vulnérabilité physique (qui fait allusion au degré de dommage susceptible d'être subie) et la vulnérabilité sociale, qui elle fait directement allusion à un défaut de résilience. Si l'on prend en compte un indicateur (i) de mesure, la vulnérabilité à un choc d'intensité donnée peut être mesurée par l'écart entre i_0 (la valeur de l'indicateur considéré à l'instant initial où le choc ne s'est pas encore produit) et i_1 (la valeur de l'indicateur après le choc), sans tenir compte de l'effet d'adaptation qui sont les efforts fournis pour limiter l'impact du choc. Plus concrètement, si par exemple l'impact d'un choc se traduit par la détérioration du pouvoir d'achat des ménages, on

doit pouvoir déterminer l'impact marginal du choc par la perte de pouvoir d'achat entre deux instants en la corrigeant des mesures prises d'une part par les politiques publiques et de l'autre par les ménages afin d'améliorer leur bien-être au vu de la situation nouvelle situation.

Le risque se définit comme étant une combinaison de l'aléa (qui est tout simplement une probabilité) et la vulnérabilité.

$$RISQUE = ALÉA \times VULNÉRABILITÉ$$

D'après Reghezza (2006), la formulation du risque par l'équation :

$$RISQUE = ALÉA + VULNÉRABILITÉ$$

fait figure de « définition officielle ». Contrairement à la première, elle n'a aucune valeur mathématique, mais permet uniquement de souligner la nécessité de la présence simultanée de l'aléa et de la vulnérabilité pour parler de risque. Le signe « + » symboliserait donc l'exposition.

Dans le cas précis des catastrophes naturelles, l'aléa qui est la probabilité (ou l'occurrence) de réalisation d'une catastrophe, peut-être à court terme considérée comme indépendante des efforts fournis. Ce n'est pas en réduisant fortement les émissions de GES aujourd'hui qu'on devrait voir immédiatement disparaître les épisodes de gelées responsables de pertes agricoles en France. Mais en considérant le long terme, les efforts d'atténuations (réduction des émissions de GES, par exemple) devraient permettre de réduire l'aléa. Par contre, l'effort d'adaptation, a un impact à court terme sur la vulnérabilité.

On peut donc résumer que :

A court terme : l'adaptation a un impact sur la vulnérabilité,

A long terme : l'atténuation a un impact sur l'aléa (la réduction de l'occurrence)

Ce qui nous permet d'écrire :

$$RISQUE = A.(\frac{ALÉA}{ATTÉNUATION}) \times B.(\frac{VULNÉRABILITÉ}{ADAPTATION})$$

Par la log-linéarisation :

$$Log(RISQUE) = \alpha.[Log(aléa) - Log(atténuation)] + \beta.[(Log(vulnérabilité) - Log(adaptation))]$$

On pourrait donc à l'occasion d'une étude empirique ultérieure et pour un type de risque défini, déterminer les facteurs aléa (la probabilité) et vulnérabilité (l'ampleur des pertes)

d'un type de choc, ainsi que les coefficients α et β , utiles pour la mise en oeuvre d'un système d'alerte précoce (SAP), ou tout simplement évaluer l'impact marginal d'une politique de réduction des risques de catastrophes. Dans ce cadre, la collecte de données suffisantes est nécessaire pourrait permettre entre autres, l'utilisation de modèles statistiques du type logit ou probit.

1.2 Résilience économique et rôle des politiques publiques

Face à ces défis, la résilience économique doit être de mise. Elle vise non seulement à consolider les systèmes d'approvisionnement en les rendant moins sensibles aux chocs, à rendre possible le fonctionnement de l'économie même en période d'adversité, un plan de continuité d'activité (par exemple les recours au télétravail pour certains types d'emplois) mais aussi à élargir et consolider le champ de l'action publique (comme le recours aux politiques non conventionnelles au sein de la BCE). Il est possible de suivre l'état de la résilience économique à travers un outil composite d'indicateurs qui est le tableau de bord de la résilience.

1.2.1 Résilience économique et politiques publiques

Les politiques monétaires en temps de crise et leurs impacts macroéconomiques

La première mission d'une banque centrale est de garantir la stabilité du niveau des prix donc du maintien du taux d'inflation à un seuil fixé et jugé acceptable suivant la conjoncture économique (ce taux est resté longtemps fixé proche de 2% par la BCE, ce qui peut laisser voir une tendance plutôt monétariste de sa politique monétaire). Même si elle veille à la stabilité des prix, en temps de crise, la BCE, tout comme les autres banques centrales, œuvre à maintenir une certaine croissance économique. Pour cela elle est amenée à arbitrer entre plusieurs objectifs de stabilité monétaire et de croissance économique. Contrairement à la BCE, la FED ne se donne pas systématiquement comme objectif la stabilité des prix. En effet, la FED donne une importance particulière au plein emploi, surtout en temps de crise économique. Il est donc du rôle de la banque centrale en temps de crise, de s'accorder avec d'autres instances de prise de décision économique au niveau national et/ou régional, quitte à s'écarter raisonnablement de certains de ses objectifs traditionnels, afin de d'apporter une réponse coordonnée et appropriée suite à la situation présente.

La banque centrale veille aussi au respect des normes prudentielles des établissements de crédit (dans la zone euro, pour la BCE). C'est là une mission importante car le pilotage

monétaire est un instrument majeur de politique économique conjoncturelle. La BCE, en gardant toute son indépendance vis-à-vis des pays membres, travaille en symbiose avec l'ensemble de la communauté afin de faire face aux grands défis. Elle contrôle également la quantité de monnaie en circulation et fixe le taux d'intérêt directeur. La BCE a recours à des instruments pour assurer sa mission. D'abord les mesures conventionnelles (traditionnelles), ensuite les mesures non conventionnelles en période de crise économique (utilisées depuis la crise financière et immobilière de 2008), avec pour but de restaurer les canaux de transmission des politiques initiées par la BCE. Ces deux types de mesures en période de crise doivent être considérés non pas comme alternatives, mais complémentaires. Les mesures non conventionnelles établissent les canaux de transmission pour que les mesures conventionnelles basées sur les taux d'intérêt deviennent plus efficaces.

Les mesures conventionnelles :

Elles sont les instruments utilisés habituellement par la banque centrale afin d'atteindre ses objectifs. il s'agit :

- des opérations d'open market qui agissent directement sur la quantité de monnaie fiduciaire disponible dans l'économie par l'émission ou le rachat des titres,
- du contrôle des établissements de crédit par des facilités de trésorerie et en agissant sur les taux (plafond et plancher) du marché interbancaire afin réguler la circulation monétaire,
- la mise en place de réserves obligatoires qui permet à la banque centrale de contrôler le niveau de crédits autorisés aux banques commerciales en fonction d'une réserve prudentielle auprès de la BCE.

Ces mesures permettent de contrôler la masse monétaire au sens large (M^3 , qui agrège la monnaie banque centrale, les dépôts et crédits, ainsi que les placements monétaires) en circulation dans l'économie. Formellement, en partant de la demande de monnaie keynésienne, sachant que la quantité de monnaie banque centrale émise dépend positivement de la propension marginale des agents à garder de la liquidité (k) pour des motifs de précaution (la banque centrale prend en compte la préférence des agents pour la liquidité), de la demande pour des motifs de transaction (qui est donc fonction du niveau des prix P) et de la demande de monnaie pour motif de spéculation (qui est-elle une fonction $L(i^-)$, qui dépend négativement du taux d'intérêt). La fonction keynésienne de demande de monnaie banque centrale s'écrit : $(M^d = P.Y.L(i))$.

Notons E^d la demande d'encaisse des agents économiques, D^d le complément de la demande pour motif de transaction. On a alors : $E^d = kM^d$ et $D^d = (1 - k)M^d$

La banque centrale fixe un taux de réserve obligatoire de θ , ce qui implique que le volume des réserves s'écrit $R^d = \theta(1 - k)M^d$.

L'offre de monnaie banque centrale (H) s'écrit donc :

$$H = E^d + R^d = (kM^d) + \theta(1 - k)M^d = [k + \theta(1 - k)]M^d$$

.

D'où en remplaçant M^d par sa valeur, on obtient : $H = [k + \theta(1 - k)].P.Y.L(i)$.

Ainsi donc, dans sa mission d'équilibre du niveau des prix, la banque centrale doit donc résoudre l'équation :

$$P = \frac{H}{[k + \theta(1 - k)].Y.L(i)}$$

Nous pouvons noter deux types de variables, - d'abord les variables instruments sur lesquelles la banque centrale a la possibilité de jouer afin d'équilibrer le niveau des prix, qui sont :

- l'offre de la monnaie banque centrale (H), le taux directeur (i), le taux de réserves obligatoire (θ),
- et les variables exogènes qui représentent pour elle des contraintes, à savoir la propension des agents à garder des encaisses (k) et le revenu réel de l'économie (Y).

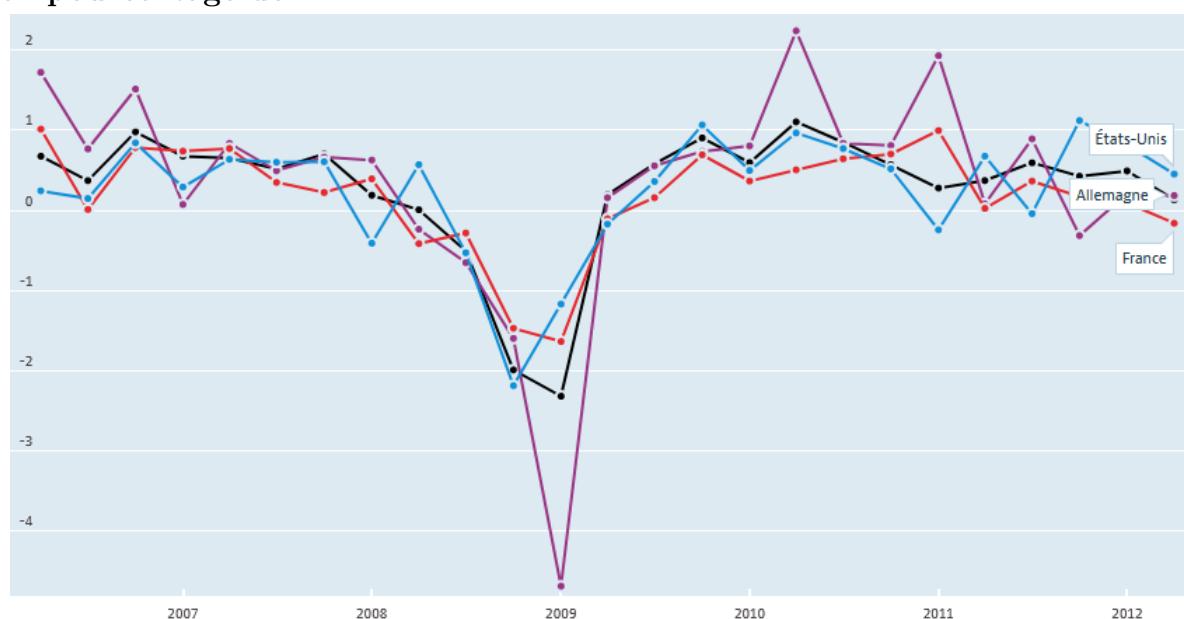
On peut comprendre à travers cette formalisation que la banque centrale, sous certaines contraintes (θ , Y et k) a la possibilité de jouer sur le taux d'intérêt, la masse monétaire à travers les mesures conventionnelles citées ci-haut pour remplir sa fonction traditionnelle de stabilisation des prix.

En prenant en compte la courbe de Phillips augmentée des anticipations, on peut comprendre que cette prérogative d'ajuster le niveau général des prix est un véritable instrument de politique économique qu'il convient d'utiliser à bon escient à l'occasion d'une crise économique. On doit toutefois noter que dans certaines situations particulières, et plus souvent à la sortie d'une crise économique qui a nécessité de la part des autorités monétaire des mesures expansionnistes (baisse de taux d'intérêt, hausse du niveau des prix), une augmentation de la préférence des agents économiques pour la liquidité (k). On peut craindre et à raison la création d'une trappe à liquidité au sein de l'économie qui rend la politique monétaire inopérante. Lorsque les taux d'intérêt sont déjà suffisamment bas et/ou les niveaux général des prix suffisamment élevés et que les agents économiques anticipent une hausse prochaine des taux d'intérêt et/ou une déflation, ils prévoient une valorisation des encaisses à leur disposition. Toute augmentation de la masse monétaire ($H = (kM^d) + \theta(1 - k)M^d$) est absorbée par la demande d'encaisse kM^d . La politique économique monétaire devient alors inefficace.

Ainsi, lors d'une crise économique qui entraîne des chocs importants sur le niveau de l'activité, les banques centrales adoptent un comportement d'équilibriste et sont amenées à arbitrer entre les objectifs de stabilisation du niveau général des prix et la relance de

l'activité économique par des politique monétaire expansionniste mais avisées. L'objectif d'un tel exercice est d'éviter un écart trop important du niveau potentiel de production de peur qu'il ne laisse place à un niveau de chômage important et qui risque de perdurer. La crise bancaire de 2008 a eu un impact considérable sur le financement de l'activité économique des pays touchés à travers les mécanismes de prêts bancaires, notamment aux Etats-Unis et en Europe. Cette crise des subprimes a installé de la méfiance généralisée entres les institutions bancaires avec comme conséquence une récession à l'échelle internationale. La FED et la BCE afin de répondre à cette crise ont dû procéder chacune de leur côté à une augmentation importante de la masse monétaire afin de relancer leurs économies, ce qui n'est pas sans effet sur le niveau général des prix. En matière de résilience économique, la France a mieux absorbé le choc de 2008 comparé aux autres pays de l'OCDE avec seulement une récession de -2.9% en 2009, mais avec une reprise lente sous un profil de U, tandis que l'Allemagne a subi le choc de façon virulente mais avec une reprise tout autant rapide sous un profils de V.

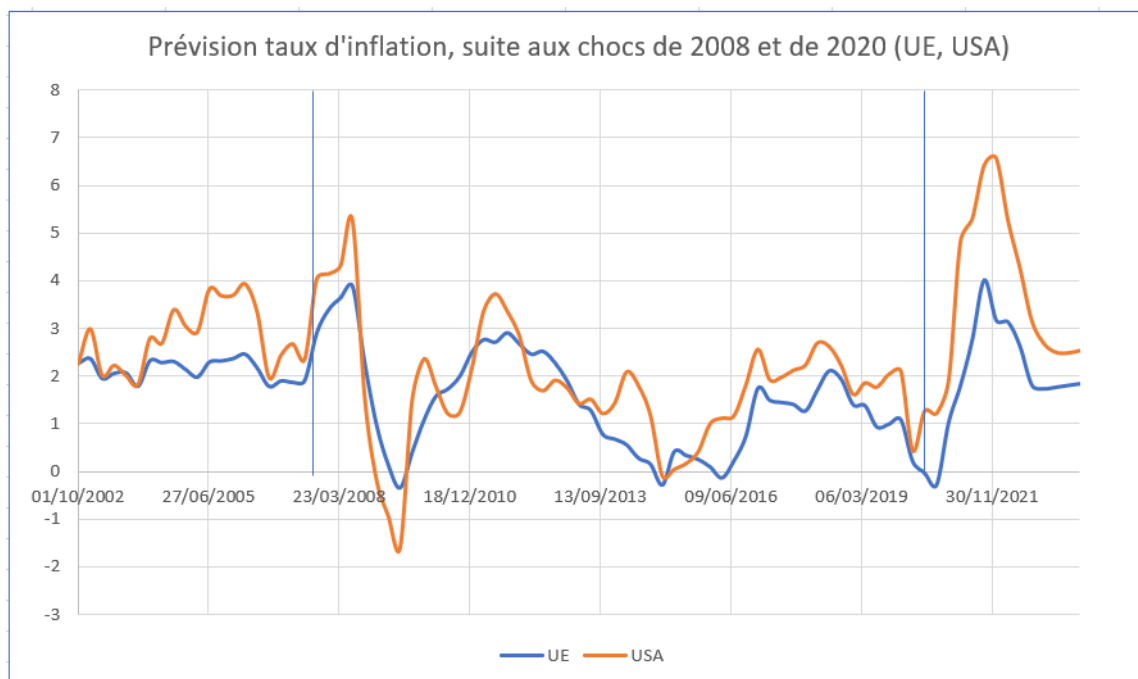
FIGURE 1.1 – Ampleur du choc de 2008, France, Allemagne, USA et OCDE
en pourcentage de PIB



Source : Base de données OCDE, *graphique emprunté*

A la différence de l'UE, les Etats Unis, plus touchés, vont miser sur les crédits pour un refinancement massif de l'économie américaine. Près de 330 milliards de dollars américains sont alors injectés pour limiter la récession. Tandis que la BCE, elle, restait optimiste quant à l'impact récessif de la crise et préfère s'en tenir à sa politique de taux d'intérêt très faible tout en restant attentive au niveau du taux d'inflation à 2%.

FIGURE 1.2 – BCE et FED, deux institutions deux modes de réactions aux chocs
En Taux d'inflation



Source : Base de données OCDE

La FED accorde une importance capitale à la reprise économique (quitte à laisser fluctuer les prix). Cet objectif prioritaire de relance de l'activité économique américaine peut se comprendre par l'inquiétude qu'une récession importante ne laisse place à une hausse importante du chômage. On peut observer sur le graphique ci-dessus que les fluctuations du niveau général des prix sont plus maîtrisées en Europe qu'aux Etats-Unis. Depuis le début de la crise financière en juillet 2007 à ce jour, on peut à partir des données trimestrielles de l'OCDE, calculer l'amplitude de fluctuation du taux d'inflation entre le minimum (-1,60%) et le maximum (6,57%) soit 8,16 points de pourcentage aux États-Unis contre 4,35 seulement dans l'Union Européenne. De même, la variance de l'inflation est nettement supérieure aux Etats-Unis (2,05) contre 0,98 dans l'Union Européenne. La BCE reste attentive aux niveaux des prix même en situation de crise.

La crise de la Covid19 a entraîné une tension inflationniste plus importante que la crise des subprimes de 2008, surtout aux Etats Unis où elle atteint un record de 5,56% en début 2022 contre 5,25% en juillet 2008, d'après les chiffres de l'OCDE. En Europe, le taux d'inflation est resté relativement modéré pendant ces deux crises majeures. Avec un pic aux alentours de 4% fin 2021, contre 3,89% en juillet 2008, d'après les chiffres de l'OCDE.

FIGURE 1.3 – BCE et FED, deux institutions deux visions
En taux d'intérêt



Source : Base de données OCDE

Au niveau de la gestion du taux d'intérêt, on peut également observer une divergence de vision. La BCE depuis juin 2014 maintient des taux d'intérêt négatif, contrairement à la FED. Cette politique de taux négatif favorise les décisions de consommation et d'investissement et par ricochet stimule la croissance économique. Avant la crise de 2008, on peut observer des taux d'intérêt très élevés (5,45% aux Etats Unis et 4,99% en Europe). Suite à la crise de 2008, ces banques centrales vont baisser considérablement ce taux sur plusieurs années. En 2014, lorsque la FED fait remonter son taux, en Europe on maintient la tendance baissière jusqu'en dessous du 0%. En 2020, à l'apparition des effets récessifs des mesures d'endiguement contre la Covid19, lorsque la FED fait baisser son taux directeur, la BCE se heurte à la contrainte du taux plancher.

Les mesure non conventionnelles

Comme mentionné plus haut, ces mesures non conventionnelles ont pour objectif de restaurer les canaux de transmission de la politique monétaire conventionnelle lorsque celle-ci atteint ses limites. La principale limite de la politique monétaire étant le plancher du taux d'intérêt à 0% (voir négatif pour l'UE). Les principaux canaux de transmissions visés par ces mesures non conventionnelles visent essentiellement :

- Les décisions de consommation et d'investissement des agents
- L'octroi de crédits bancaires
- Le taux de change

- Les anticipations d'inflation des agents économiques

Une bonne politique monétaire doit prendre en compte les anticipations des agents économiques (critique de Lucas), pour cela, quoi de mieux qu'une bonne communication ? Les mesures non conventionnelles consistent en la mise en œuvre de mesures :

- d'assouplissement quantitatif ou quantitative easing (QE) : par l'octroi aux banques secondaires d'une certaine quantité de liquidité afin de faciliter l'octroi de prêt bancaire aux entreprises et aux particuliers. Cette mesure vient prendre la relève en termes de politique monétaire lorsque les taux d'intérêts sont déjà suffisamment faibles (proche de 0% voir en dessous),
- d'assouplissement de crédit ou credit easing (CE) : la banque centrale agit directement au sein de l'économie par l'achat de titres souverains avec assouplissement des règles d'éligibilité à ses titres, contournant ainsi les canaux traditionnels de refinancement,
- de forward guidance (FG) : l'utilisation de l'effet d'annonce afin d'influencer les anticipations des agents économiques. Il s'agit plus concrètement d'informer sur le niveau de long terme du taux d'intérêt (de faire du guidage prospectif du marché). Aussi, faut-il que les annonces soient crédibles.

les politiques budgétaires et impact macroéconomique

$$Y = C + I + G$$

En supposant que toute l'épargne est investie ($S = I$), on peut écrire :

$$Y = [C_0 + c(Y - T)] + I + G = C_0 + cY - cT + I + G$$

Ce qui implique que : $(1 - c)Y = C_0 - cT + I + G$

qui implique aussi que : $Y = (\frac{1}{1-c}).(C_0 - cT + I + G)$

D'où :

$$\Delta Y = (\frac{1}{1-c})\Delta G$$

L'impact de la politique budgétaire dépend du coefficient multiplicateur ($\frac{1}{1-c}$) qui est fonction de la propension marginale à consommer des ménages (c), qui elle-même dépend du moral des agents économiques.

Les politiques conjoncturelles au sein des pays OCDE

Les économies de l'OCDE sont sujets aux fluctuations modérées : l'évolution économique des politiques macroéconomiques et une meilleure gestion des stocks ont permis à ces pays développés d'avoir une modération des cycles économiques. Les chocs exogènes sont

facilement amortis par mesures prises d'une part et de l'autre par les rôles de stabilisation automatique des finances publiques qui se traduit par des hausses des prélèvements obligatoires en cas de chocs positifs et la hausse des prestations sociales en période de récession. Pour le cas des pays en voie de développement, ces mécanismes sont quasi-inopérants compte tenu du poids de l'économie informelle et de la faiblesse des prestations sociales. L'applications de politiques macroéconomiques avisées et bien appropriées contribuent dans les pays développés à ancrer les anticipations des agents.

- La plupart des économies développées et celles de l'OCDE en particulier sont imbriquées. Elles font face à des chocs communs. On constate une certaine synchronisation des cycles économiques favorisée par les fortes relations commerciales et financières qu'elles entretiennent entre elles. Tandis que les autres Etats sont souvent en déphasage pour la plupart des petits cycles.

- Avec le développement commercial entre pays développés (de l'OCDE en particulier) et le phénomène de spécialisation internationale (la Division internationale du processus productif), fait que les chocs se propagent facilement au-delà des frontières des pays. Cela est encore plus vrai pour des espaces économiques comme la zone euro qui sont réunies autour d'une monnaie commune et de conventions entre Etats pour la réglementation de leur grande économie. Les déphasages momentanés de cycles au sein de ces économies développées est généralement dû aux chocs idiosyncratiques ou à des politiques conjoncturelles différentes face à un même choc. A noter que la pertinence d'une politique conjoncturelle peut être liée aux paramètres structurels de l'économie considérée.

La résilience d'une économie est liée aux réformes structurelles qui renforcent la capacité de son cadre institutionnel à amortir les chocs exogènes et la réactivité des canaux de transmission des mesures conjoncturelles permettent un retour rapide au niveau potentiel (fonction impulsion-réponse).

La relation entre l'aspect résistance de la résilience (l'amplitude de l'output gap) et la persistance de l'effet récessif (dans le temps) n'est pas simple. Ces deux aspects de la résilience peuvent même être contradictoire par moment. En guise d'exemple, si des mesures strictes de protection de l'emploi permettent de maintenir le pouvoir d'achat des ménages suite à un choc, elles peuvent, de l'autre côté, engendrer de la réticence des entreprises à recruter. La protection des salaires crée une certaine rigidité quant à l'ajustement des salaires. Une réglementation stricte du travail ne permet pas la réallocation du travail vers les secteurs qui deviennent productifs suite à un choc, retardant ainsi le retour au niveau d'avant le choc. La demande peut donc augmenter mais l'offre ne suit pas immédiatement. Compte tenu de l'inflation actuelle due en partie par les mesures d'endiguements contre la covid et de l'autre par l'impact de la guerre en Ukraine, la rigidité sur les salaires permet aux entreprises, de ne pas indexer parfaitement les prix sur le coût de l'inflation. Tandis qu'une grande flexibilité des salaires peut rapidement donner lieu à l'inférieure boucle

prix-salaire. Un autre facteur de résilience est la performance des canaux de transmission de la politique monétaire. Plus le mécanisme de transmission monétaire est puissant, plus la réaction nécessaire des politiques est faible et moins persistante. Le degré de libéralisation du marché financier peut être compté parmi l'un des facteurs de la performance des canaux de transmission.

1.3 La surveillance de la résilience économique

Les Etats de l'UE lors du conseil européen de juillet 2020, rapporter sur la page internet UE, ont opté pour un plan de relance "Nex Generation UE" pour la transition des économies vers les nouvelles normes écologiques et numériques pour un montant historique de 750 milliards d'Euros (Commission (2021)) pour l'ensemble des pays membres et qui sera financé par l'endettement.

Le tableau de Bord de la résilience

Dans ce cadre, le Premier Ministre Jean CASTEX, avait annoncé le 3 Septembre 2020 le plan France relance (site internet Vie publique), qui sera suivi du plan national de relance et de résilience (PNRR) pour les années à venir. Une meilleure résilience suppose une préparation aux défis à venir. Le plan national de relance et de résilience en France comporte trois priorités majeures, à savoir l'écologie, la compétitivité et la cohésion sociale. Pour **l'écologie**, il prévoit une rénovation énergétique et le développement de technologie verte. Il prévoit également des investissements pour la préservation de la bio-biodiversité et des infrastructures et mobilité vertes. **La compétitivité**, dans cette rubrique, le plan entend apporter un soutien aux entreprises nationales dans le cadre de la recherche et développement afin de garantir leur compétitivité sur le marché mondial à travers le développement de technologies vertes. Ce plan vise notamment la souveraineté technologique des entreprises nationales, leur mise à niveau numérique pour une meilleure résilience nationale. **Cohésion** quant à elle entend investir dans la sauvegarde du tissu social à travers l'emploi jeunes, des personnes en situation d'handicap et promouvoir les formations professionnelles. En effet, avec les avancées, se pose un problème d'inadéquation entre emploi et qualification des travailleurs. Avec la crise, la trajectoire vers une mutation de l'économie oblige les Etats et les entreprises à apporter des réformes visant à adapter les qualifications au profils demandés sur le marché.

Les périodes de crises sont en général des moments où se révèlent les maillons faibles d'un système (économiques notamment). Ces périodes s'avèrent donc propices pour initier des changements profonds. Tout comme l'issue des deux guerres mondiales ont marqué

le début de l'intégration des femmes sur le marché du travail, il n'est pas exclu que les programmes de ripostes contre les épidémies telles que le plan "Next Generation EU" ne soient de véritables aubaines pour la transition écologique. Le moins qu'on puisse dire est que c'est ce qui apparaît dans les grandes lignes des politiques récemment initiées dans les pays développés.

Avec la mobilisation générale de l'opinion publique qui est de plus en plus importante pour les causes environnementales, on peut constater une évolution dans la taxation de la pollution, les normes d'émission dans le secteur automobile qui représente de loin la principale source des émissions de CO_2 . L'ensemble de ces facteurs nous amène vers un changement radical des modes de production au sein même des entreprises. Pour modéliser ce phénomène sous forme de jeu du type dilemme du prisonnier, on va supposer en un premier temps un marché oligopolistique avec quelques grands groupes (à l'image des constructeurs automobiles). Lorsque les entreprises prévoient d'énormes changements à venir soit en termes de réglementation ou en période de crise, elles vont prendre l'initiative d'initier de profondes transformations, de financer des projets de recherche et développement afin de bénéficier d'avance technologique ou d'effet des brevets. Le constructeur américain Tesla a par exemple réussi à vendre pour 397 millions de dollars des permis à polluer à ses concurrents en 2009. D'après les études de Coline (2020) sur la stratégie de Tesla, cette entreprise consacrerait une grande partie de son budget au recherche et développement, ce qui lui confère aujourd'hui encore une place de choix parmi ses concurrents. Par contre les entreprises qui ne se donneront pas pour priorité de s'adapter aux nouvelles contraintes (notamment réglementaires) se trouveront en faiblesse stratégique. Surtout que la réglementation devient de plus en plus stricte dans l'espace Union Européenne. Les constructeurs automobiles ne respectant pas les normes des 95 g/km de CO_2 en moyenne devraient tomber sous la peine d'une amende. Ce fut le cas des constructeurs Volkswagen, Mercedes, Ford, Volvo et Fiat en 2020. On peut écrire le jeu sous sa forme normale :

		Entreprise A	
		Innove	N'innove pas
Les autres	Innove	$(\pi ; \pi)$	$(\pi + \tau/n ; \pi - \tau)$
	N'innove pas	$(\pi - \tau ; \pi + n\tau)$	$(\pi - t ; \pi - t)$

avec π le niveau moyen des bénéfices dans le secteur, t le montant moyen des taxes pour non-conformité aux normes établies et τ , le coût d'acquisition par l'entreprise de permis

à polluer sur le marché secondaire des permis à polluer.

On peut faire deux hypothèses sur la fixation de t et τ : - d'abord le niveau optimal de t varie en fonction des avancées technologiques, plus il existe des technologie permettant de polluer moins, plus le législateur se voudra strict en termes de normes à respecter ; - ensuite, $t > \tau$, les pollueurs préféreront se procurer d'un permis à polluer sur le marché secondaire des permis à polluer que de devoir payer des taxes plus élevés pour non-conformité aux normes.

La pratique d'une fixation de normes de conformité en terme de pollution a l'avantage de permettre le respect des engagements (accords de Paris, COP26) au niveau des Etats en termes de limitation des GES. Quelques que soient les modes, la technologie de l'entreprise innovante sera telle que son coût marginal à dépolluer sera toujours inférieur à celui d'une entreprise avec une technologie moins élaborée. A ce stade, quel que soit le mode de répartition des permis à polluer sur le marché (mise aux enchères, les prix fixés à un seuil ou distribution de permis en fonction du niveau de production antérieur pour chaque entreprise), les entreprises innovantes restent toujours plus compétitives.

1.4 Les reprises types par les Cartes de Kohonen (SOM) et caractéristiques de la résilience

La résilience économique est un phénomène qui prend en compte plusieurs indicateurs économiques qui ne sont pas forcément distribués suivant une loi normale, et qui peuvent être corrélées entre eux ou avoir des relations qui peuvent être non linéaires et complexes, mais qui sont tout de même importants à prendre en compte dans la caractérisation de la résilience économique. Ainsi, on se retrouve face à la violation de plusieurs hypothèses de base nécessaires à la mise en place des méthodes traditionnelles d'estimation statistique. Face à ces limites, les techniques issues de l'intelligence artificielle comme les cartes auto-organisatrices (Self Organizing Maps SOM) de Kohonen peuvent être une alternative valable aux méthodes traditionnelles. Elles vont nous permettre de mettre sur pied des systèmes d'alerte précoce sans aucune idée a priori des relations entre les indicateurs (Sarlin (2011)).

Les cartes auto-organisatrices (Self Organizing Maps SOM) sont introduites depuis 1981 dans la littérature mais elles ne sont utilisées que récemment compte tenu des avancées récentes en termes de puissance de calcul.

1.4.1 Methode de calcul des SOM

Les cartes de Kohonen effectuent de l'apprentissage non supervisé par des taches de réduction et de réorganisation des données en clusters. Il est donc non paramétrique. Kohonen

s'inspire du fonctionnement du cerveau pour mettre en place la base de fonctionnement des SOM. En effet, chaque partie du cerveau sert à commander une partie spécifique du corps (neurons identiques se retrouvent dans la même zone et correspondent à une partie définie du corps). De même, les données relativement proches de l'ensemble d'entrée (les données d'entrée) auront des correspondants relativement proches dans l'espace de sortie. On assiste donc à une réorganisation des neurones en clusters. Etant préalablement réinitialisés et constitués de n neurones éparpillés de façon régulière sur un espace de dimension réduite (généralement inférieur à trois pour permettre la visualisation), les neurones ayant des correspondants proches dans l'espace d'entrée se regroupent en clusters et les données d'entrée sont ainsi projetées dans une dimension inférieure. Pour une dimension un (respectivement deux) les neurones sont organisés suivant un axe (respectivement un plan); pour une dimension trois les neurones se regroupent en volume.

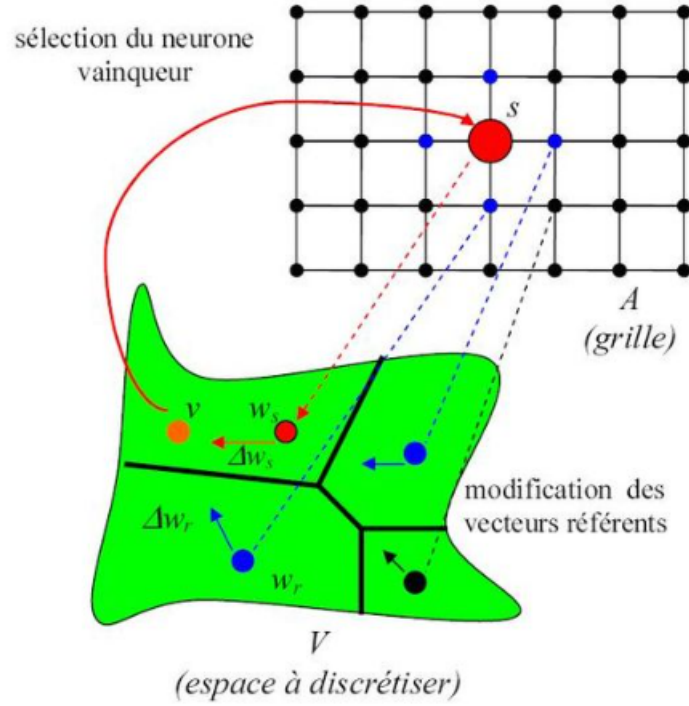
Au cours de l'apprentissage non supervisé par l'algorithme de la SOM, chaque neurone apprend à attirer les données similaires, tandis que tous les neurones voisins apprennent également avec un poids décroissant à attirer d'autres données similaires. Au cours de cette auto-organisation hiérarchique, la carte est divisée en plusieurs clusters de neurones, les clusters relativement semblables étant voisins. L'algorithme de la SOM utilise la distance euclidienne (équation 1.1).

Le neurone gagnant

Nous avons donc en tout trois couches qui sont en jeu avec les SOM (la couche d'entrée, la couche topographique et la couche de sortie). Au cours de la première phase d'itération à l'instant t initiale, dans la couche d'entrée, les éléments sont connectés par des poids W_{ji} avec $j \in (1, L)$ et $i \in (1, M)$ aux neurones de la couche topographique de poids avec $W_j \in (W_{j,1} \dots W_{j,M})$.

Le Neurone gagnant est celui dont le poids correspond le mieux à la donnée présentée. Le neurone gagnant est par suite d'itérations ajusté de manière à correspondre au mieux à l'ensemble des données similaires (se trouve au centre du cluster), autour duquel se forment les autres éléments identiques.

FIGURE 1.4 – Le neurone gagnant



Les équations de la méthode itérative des SOM dans ce présent mémoire ont pour référence Sarlin (2011).

Equation 1.1 :

$$\|x - m_c\| = \min_i \|x - m_i\|$$

Après le choix du neurone gagnant dans la première itération, la deuxième étape consiste à activer le neurone gagnant mais aussi ceux des autres neurones qui lui sont proches (par une fonction de voisinage). Cette opération de mise à jour permet au vecteur référent du neurone gagnant de ressembler encore plus au vecteur d'entrée. La fonction de mise à jour est donnée par l'équation 2.

Equation 1.2 :

$$m_i(t+1) = \frac{\sum_{j=1}^N h_{ic(j)}(t)x_j}{\sum_{j=1}^N h_{ic(j)}(t)}$$

avec $h_{ic(j)}(t)$ le poids du vecteur d'entrée à l'instant d'itération (t) , $c(j)$ le vecteur d'entrée et N le nombre de vecteur d'entrée. Ce point est défini par la fonction gaussienne définie à l'équation 2.3.

Equation 1.3 :

$$h_{ic(j)} = \exp\left(-\frac{\|x_c - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right)$$

avec r_i et r_c les coordonnées bidimensionnelles du vecteur de référence m_c et m_i . Le rapprochement de clusters en deuxième étape se fait par utilisation d'informations local avec le regroupement hiérarchique agglomératif du critère de Max Min (ou critère de Ward). Ce critère qui permet de regrouper les groupes les plus proches S_k et S_l de façon itérative est tel que spécifié ci-dessous à l'équation 1.4.

Equation 1.4 :

$$c(S_k, S_l) = \frac{n_k n_l}{n_k + n_l} \cdot \|c_k - c_l\|^2$$

avec n_k et n_l les cardinalités des centres de grappes S_k et S_l .

On doit spécifier la taille de l'espace topographique, c'est-à dire le nombre de neurones de la carte. Au cours du processus d'apprentissage, la qualité de l'organisation est mesurée en termes d'erreur de quantification et distorsion. L'erreur de quantification moyenne représente l'ajustement de la carte neuronale aux données, mesurée par une moyenne des distances entre tous les vecteurs d'entrée x_j et leurs vecteurs de référence correspondants les mieux adaptés m_c , cette erreur de quantification moyenne est calculée par l'équation 1.5.

Equation 1.5 :

$$qe = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \|x_j - m_{c(j)}\|$$

La mesure de la distorsion normalisée est donnée l'équation 1.6. Elle détermine l'ajustement de la carte en prenant en compte la dimension de l'espace d'entrée et de l'espace topographique (le nombre de neurones). Le rayon de voisinage est donné par l'équation 1.6.

Equation 1.6 :

$$DM = \frac{1}{N} \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M h_{ic(j)} \|x_j - m_i\|^2}{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M h_{ic(j)} \Big| M}$$

1.5 Résultat en sortie par les SOM

Nos données en entrée portent sur la production industrielle de 36 grandes économies à travers le monde de 1990 à fin 2021 (voir liste dans l'annexe B1 : Tableau). La crise de la Covid 19 à laquelle nous nous intéresserons plus particulièrement ici étant récente, les données complètes ne sont disponibles que pour un nombre limité de pays (ceux qui sont pris en compte dans ce mémoire).

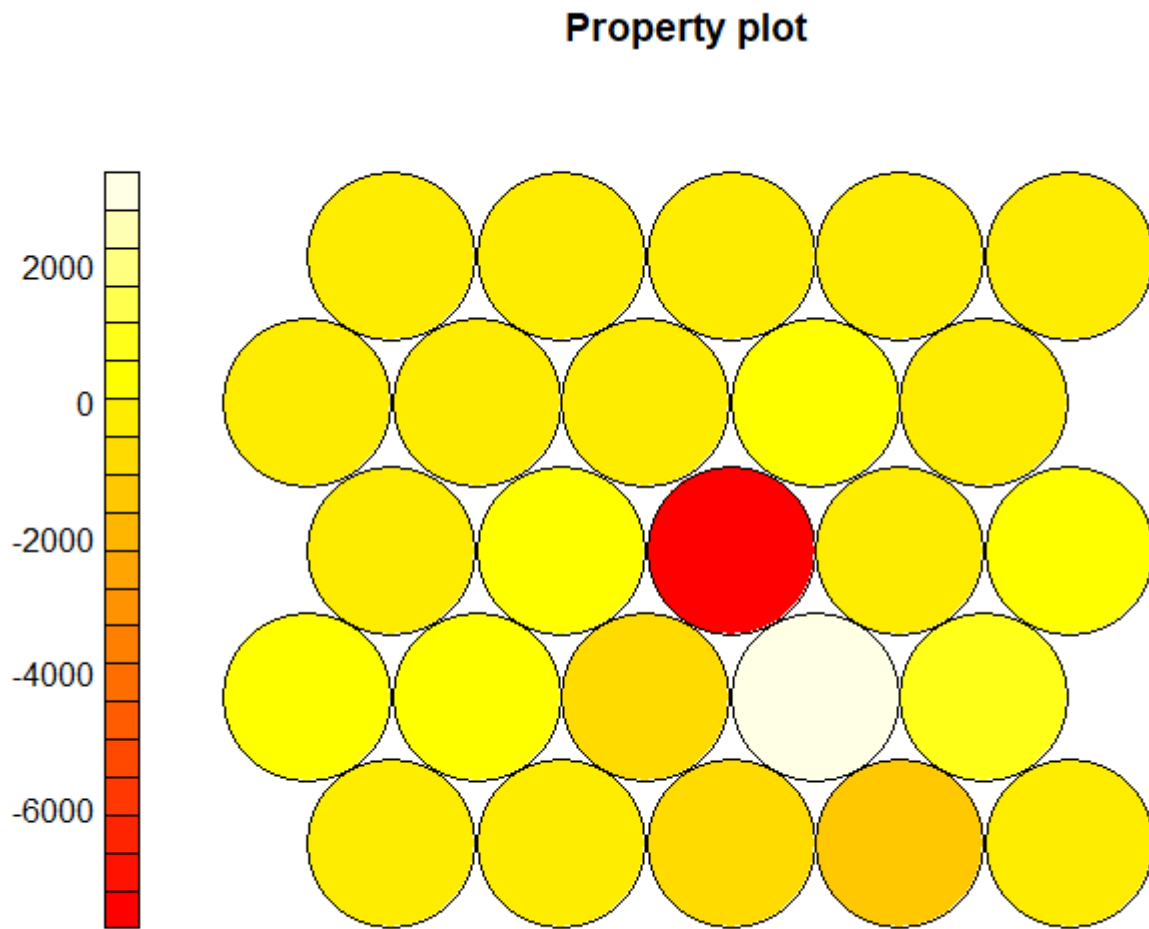
voir code programme dans Annexe A

En utilisant un espace topographique bidimensionnel de 5×5 neurones on obtient la représentation visuelle après réorganisation des neurones en plusieurs types de reprise par les SOM comme présenté ci-dessous.

Nous distinguerons principalement trois profils de reprise :

- les reprises fortes (S), caractérisées par un écart minimal du niveau d'avant crise, suivi d'un rebond rapide,
- les reprises partielles, caractérisées par un écart moyen et relativement rapide
- les reprises faibles, qui sont les plus affectées par le choc avec un écart important du niveau avant la crise

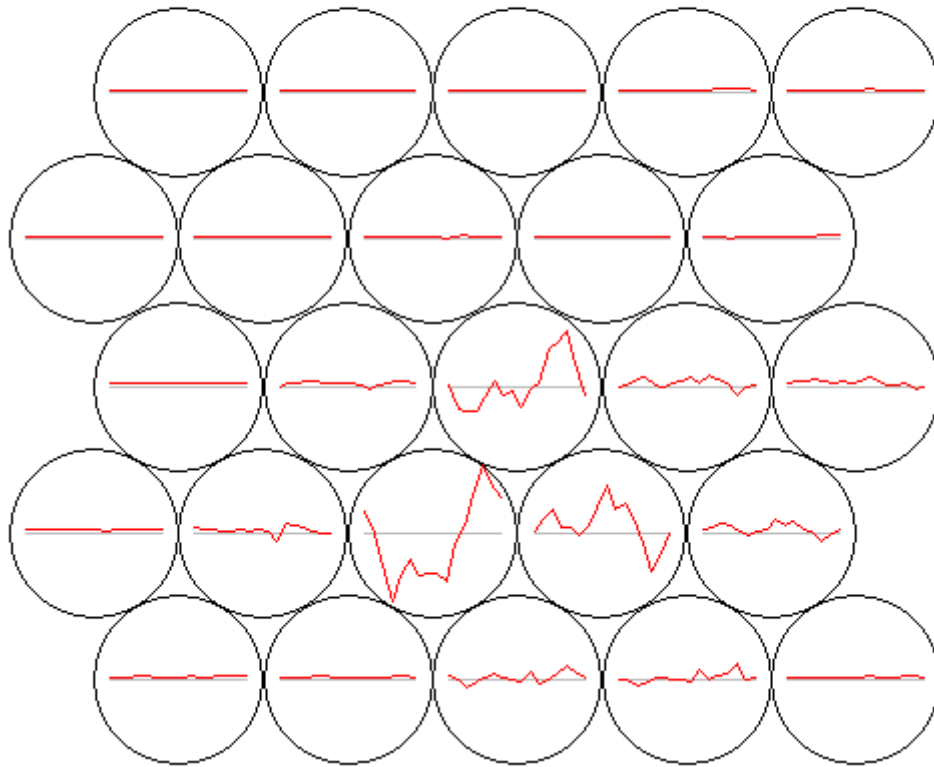
FIGURE 1.5 – Regroupement des neurones par ampleur de la récession



Nous pouvons distinguer, dans les neurones représentées sous format Codes plot, les profils de reprises comme le décrivent Barthélémy et al. (2020) pour certaines économies en V, pour d'autres en U ou encore en W.

FIGURE 1.6 – Regroupement des neurones par reprise type

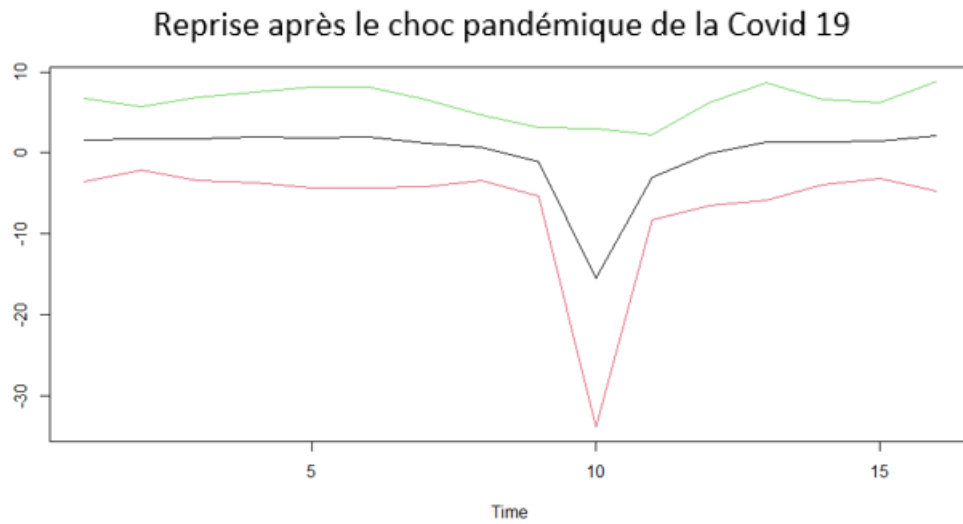
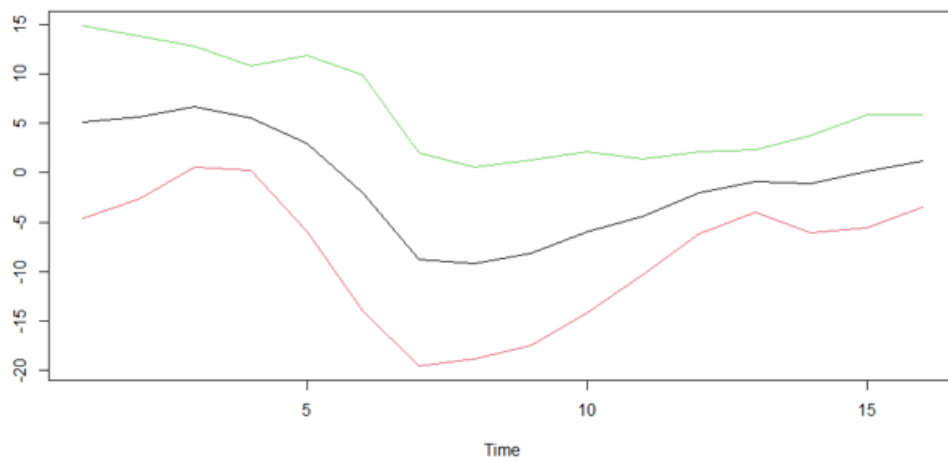
Codes plot



Le principal enseignement qu'on peut tirer après le regroupement effectué par l'algorithme des cartes auto-organisatrices est que la crise de subprimes de 2018 a eu un impact progressif mais soutenu qui s'est traduit par une baisse lente de la production mais qui a durée dans le temps. On peut constater que la reprise n'a pas permis d'atteindre tout de suite le niveau d'avant la crise, un profil de reprise en U, mais qui se rapproche du L, bien que la crise soit essentiellement financière.

La crise de la covid a entraîné l'effondrement de la production en l'espace de quelques semaines. Mais contrairement à la crise de 2008, le rebond a été immédiat. La chute de la production, bien que plus profonde que celle de 2008 a rapidement retrouvé son niveau d'avant choc (contrairement à 2008). Le profils de reprise est donc typiquement en V.

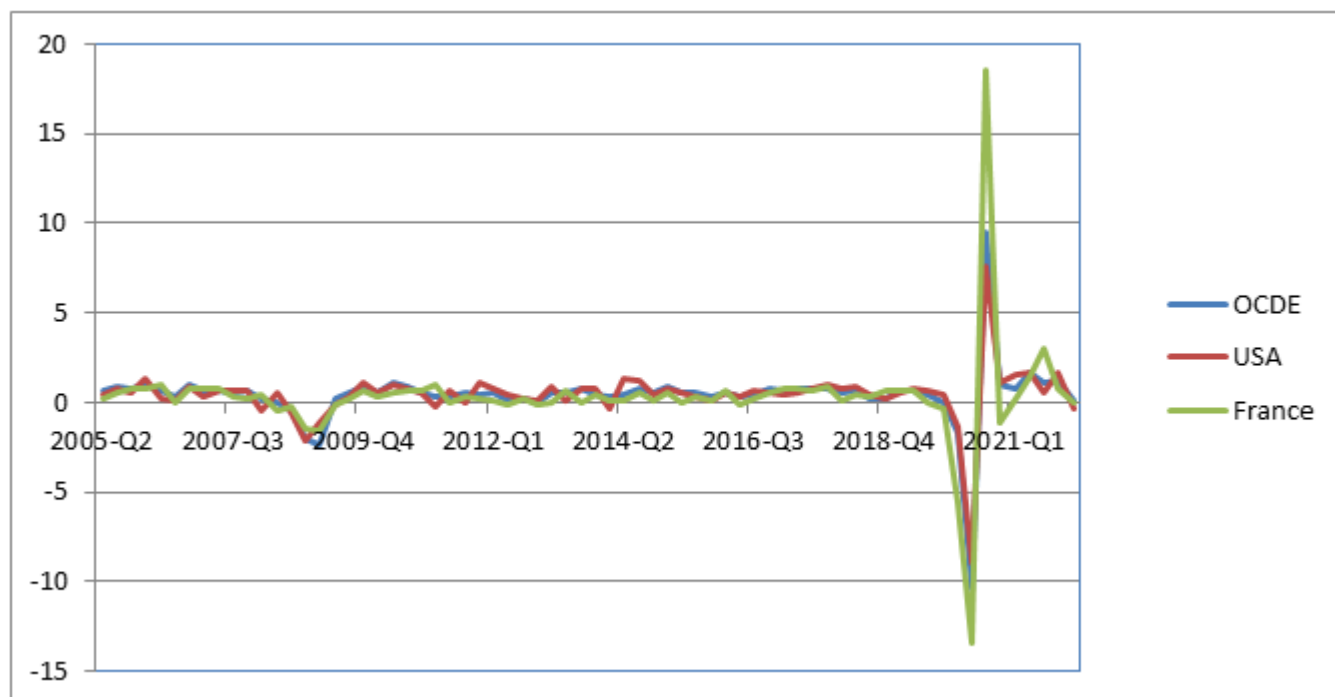
FIGURE 1.7 – **Les profils types de reprises** crise financière et crise pandémique comparés
Reprise après la crise des subprimes de 2008



L'ampleur de la chute de la production intérieure brute peut être observée à travers la figure 1.8 réalisée à partir des données OCDE sur l'évolution du PIB trimestrielle.

FIGURE 1.8 – Les profils de reprises crise financière et crise pandémique comparées, évolution PIB par rapport à celui de 2015 (année référence)

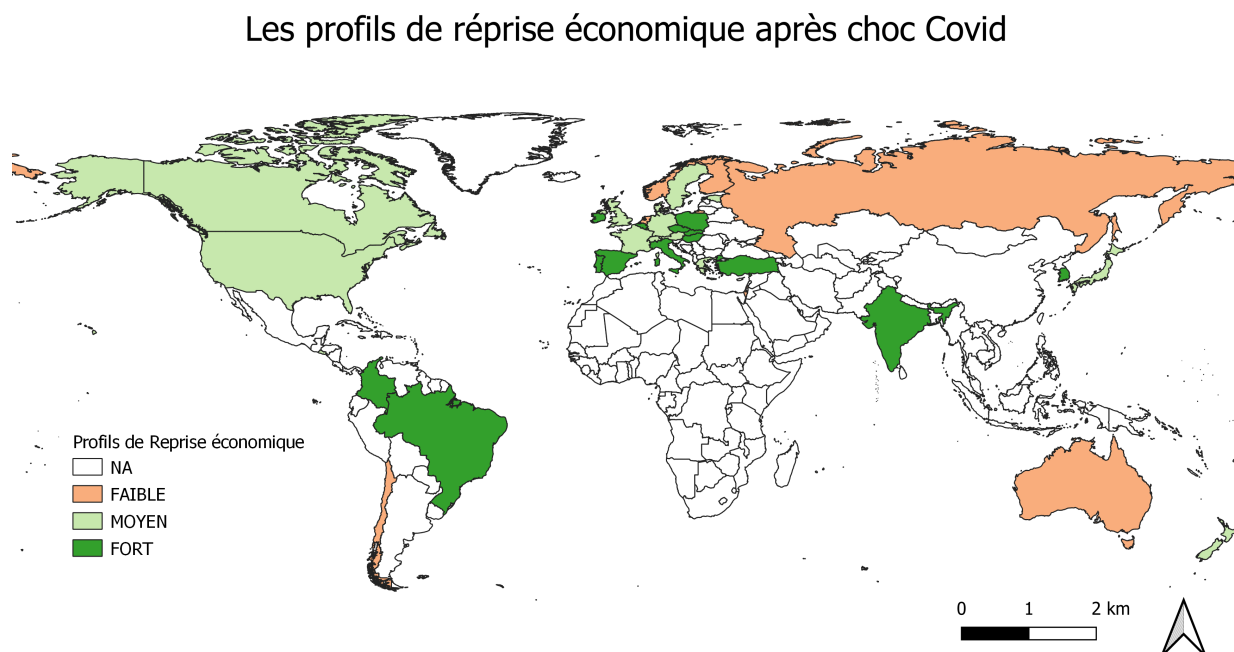
En taux de croissance du PIB réel



Données taux de croissance OCDE

On peut observer sur la carte ci-dessous les pays à faible rebond en rose, les pays à rebond moyen en vert clair et les pays qui ont eu un fort rebond après le choc de la Covid 19.

FIGURE 1.9 – Profile de reprise économique (forte, moyenne ou faible) selon les pays



élaborée à partir des données trimestrielles OCDE

On peut dès lors se poser la question de savoir quels sont les facteurs déterminants au type de reprise économique. Nous utilisons ici les arbres de décision à partir de l'algorithme RPART. Le code programme utilisé est consultable dans l'annexe A, troisième étape.

1.6 Les déterminants de la résilience économique à travers les arbres de décision

Les arbres de décision sont des algorithmes de machine learning qui nous permettent d'effectuer de façon automatique des opérations de classifications et de régression. Ils s'adaptent à des données complexes qu'elles soient linéaires ou non linéaires. L'arbre présente en son sein une ou plusieurs règles de décision binaires qui nous permettent de résoudre des problèmes complexes. Ils sont des outils puissants pouvant servir de système d'alerte précoce. Son avantage principal est qu'il nous permet d'observer la manière dont l'algorithme prend la décision.

A travers la classification par les arbres de décision, on recherche la pureté de la classification qui est calculée par l'indice de Gini. L'algorithme procède donc à la mise en place

de plusieurs règles successives jusqu'à l'obtention des classes les plus pures (c'est à dire un Gini négligeable).

Le coefficient de Gini est donné par :

$$G_i = 1 - \sum_{g=1}^n p_{i,g}^2 \quad (1)$$

avec $p_{i,k}$ le ratio du nombre d'individus (i) dans la classe g plus G_i est proche de 0 plus la classification est pure, c'est à dire chaque élément est affectée avec une probabilité certaine à son ensemble d'appartenance.

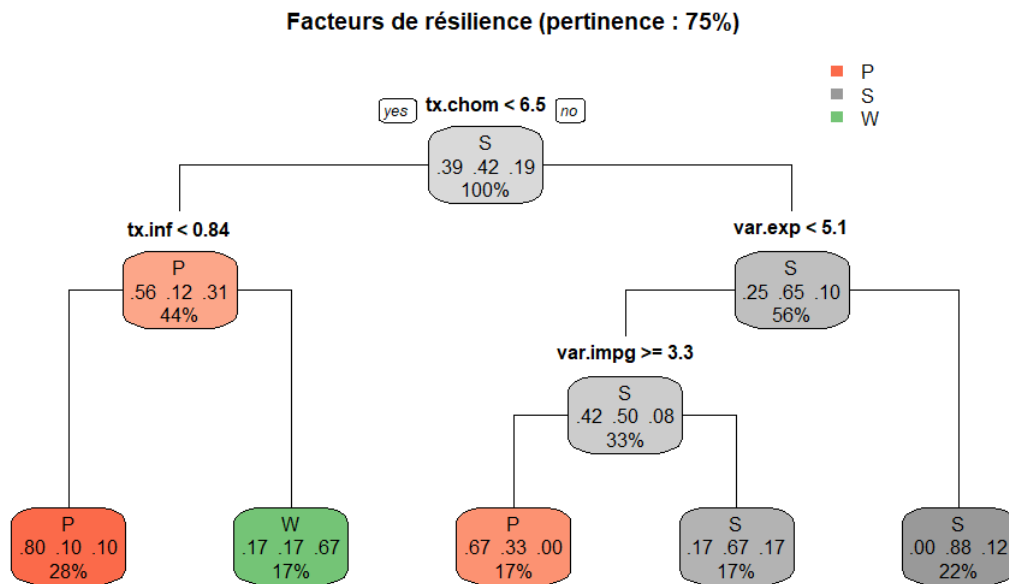
Le code programme est présenté en Annexe A.

Règle de décision

A partir des reprises types, on essaye de déterminer les indicateurs qui peuvent nous permettre de prévoir la résilience économique.

Avec le graphique 2.8 en sortie de notre programme, nous avons au niveau supérieur, **le taux de chômage** (première règle) avec un seuil critique de 6,5% ($< 6,5\%$). Si le taux de chômage est inférieur à 6,5%, alors on passe à la branche gauche de notre arbre (sinon on passe sur la branche droite) avec une nouvelle règle de décision portant sur la croissance de **l'exportation** avec un seuil de 5,1% ($< 5,1\%$). Si ce critère est respecté, alors la reprise économique est forte (s comme strong). Ainsi, les pays ayant un taux de chômage supérieur ou égale à 6,5% ont des reprises partielles ou faibles à une marge d'erreur près.

FIGURE 1.10 – Arbre de décision 1



La règle de décision est valable pour les arbres 2 et 3 en fonctions des indicateurs retenus.

FIGURE 1.11 – Arbre de décision 2

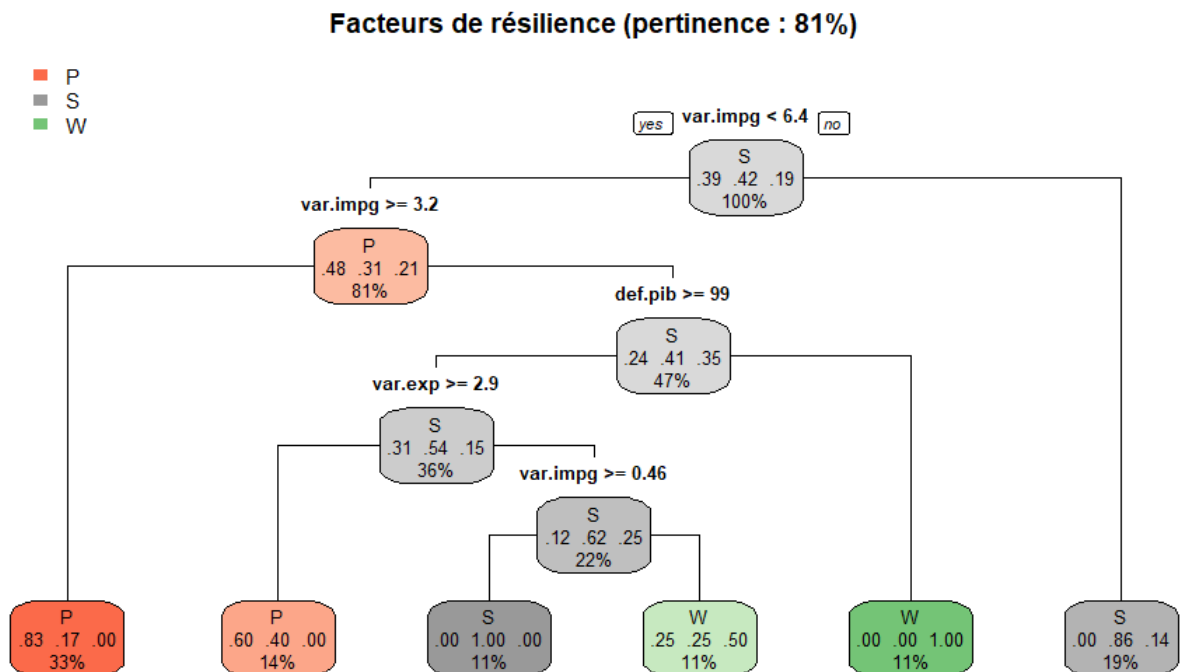
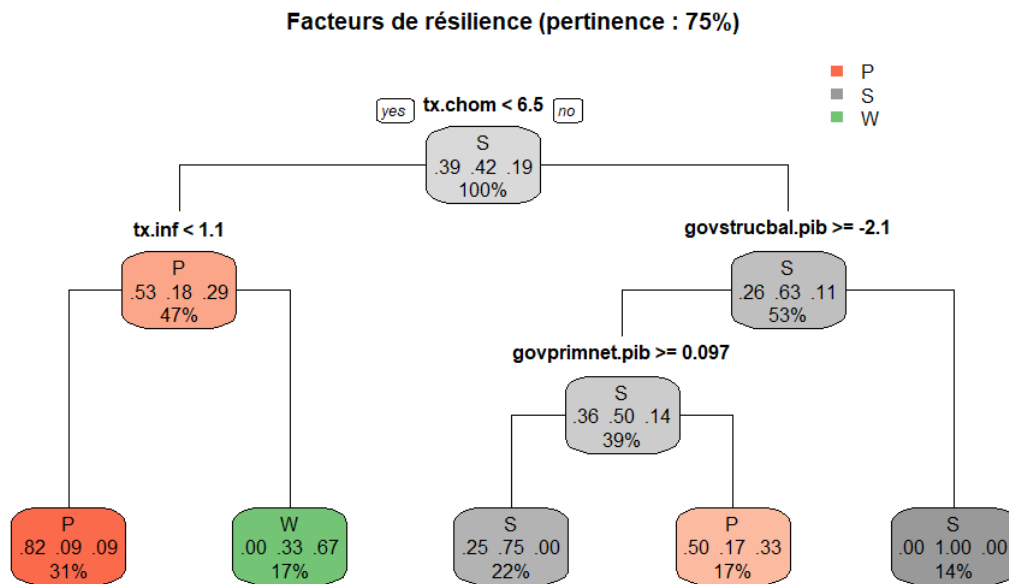


FIGURE 1.12 – Arbre de décision 3



1.7 Tableau de bord de la résilience économique

Le recours aux tableaux de bords de la résilience Le tableau de bord de la résilience permet le suivi et l'évaluation de l'état de la résilience selon les critères qu'on se fixe dès le départ. Il permet entre autres, de donner un aperçu global de l'état présent des indicateurs de résilience suivant les objectifs fixés, de suivre l'évolution de ces indicateurs dans le temps et de pouvoir faire une comparaison relativement à d'autres entités (qu'elles soient de même niveau de découpage géographique ou non (pays, région, unions monétaires, ensemble de pays).

La commission européenne pour l'élaboration de son tableau de bord de la résilience, prend en compte quatre dimensions de la résilience :

- Économique et sociale,
- Géopolitique,
- Numérique, et
- Verte.

La commission vise à évaluer la vulnérabilité, les faiblesses à un risque (aléa) et la capacité à saisir les opportunités. Les deux aspects doivent nécessairement être pris en compte car ils font appel la plupart du temps à des mesures différentes, et donc l'un ne devrait pas être au détriment de l'autre mais doivent être pris conjointement. La commission européenne procède en cinq étapes principalement :

Développement de la structure : c'est l'étape conceptuelle qui vise à évaluer tous les

sujets pertinents pour chaque dimension en grands domaines thématiques (économique et sociale, géopolitique, numérique et verte).

La vision de la résilience économique de la commission européenne est donc fondée sur le management sur plusieurs plans (politiques et sociale, géopolitique, numérique et verte).

La sélection des indicateurs

Il s'agit à ce niveau d'une analyse approfondie de la pertinence des indicateurs et en fonction aussi des données disponibles afin de faire une sélection de données qui permettent au mieux de refléter l'état de la résilience. Plusieurs critères doivent être pris en compte : vue d'ensemble, représentativité, cohérence et valeur ajoutée, perspective future, clarté, comparabilité.

La cartographie des indicateurs

Une fois terminée la phase de sélection des indicateurs, il faut maintenant les associer selon qu'ils ont lien aux vulnérabilités ou aux capacités.

Analyse des lacunes

Il convient d'analyser si l'ensemble des indicateurs reflètent bien l'état de la résilience ou s'il y a nécessité de recourir à d'autres types d'indicateurs.

Chapitre 2

Les conséquences socioéconomiques des catastrophes

Au cours de son histoire, l'humanité a connu de nombreuses catastrophes qui ont marqué son orientation et son organisation. L'une des plus importantes catastrophes qui mérite d'être citée ici et qui a marqué l'histoire de l'humanité reste les deux grandes guerres mondiales. Plus de 20 millions de personnes ont perdu la vie dans la première et 60 millions pour la seconde, un coût économique global estimé à plus de quatre fois le PIB de l'ensemble des pays européens qui ont pris part à ces conflits. A la fin du conflit, entre 1945 et 1958, de nombreux pays européens font face à une explosion de leurs dettes publiques accompagnée d'une forte inflation (un taux proche de 50% pour la France). Mais ces deux guerres ont aussi été l'origine de plusieurs changements. L'insertion des femmes sur le marché du travail, la naissance de l'État providence, la plupart des avancées technologiques, la quasi-totalité des institutions supranationales et l'organisation mondiale actuelle sont nés à l'issue de ces grandes guerres.

Il est donc incontestable que les guerres et les autres conflits armés, en tant que catastrophes, ont un lourd impact socio-économique. Mais, ils ne sont malheureusement pas l'unique source de catastrophes à laquelle l'humanité doit se préparer. Depuis un certain temps, l'humanité a compris qu'en dépit des progrès scientifiques dans le domaine de la médecine, elle n'est pas à l'abri d'une catastrophe épidémiologique. Aux menaces préexistantes comme les catastrophes naturelles et épidémiologiques, s'ajoutent d'autres qui sont inhérentes aux évolutions technologiques et sociales. Nous pouvons citer par exemple le potentiel de dommages que peuvent avoir des cyberattaques compte tenu de la numérisation actuelle de l'économie mais aussi des secteurs clés comme la santé et défense.

2.1 Nature et impacts socioéconomiques des catastrophes

Les impacts économiques des catastrophes dépendent de la nature des chocs qui les engendrent. C'est le point de vue de Eichenbaum et al. (2020), qui soulignent par exemple le contraste des effets entre les chocs induits par les conflits armés qui aboutissent à la destruction du capital productif et à la fuite du capital humain, affectant ainsi de façon durable le PIB potentiel et les chocs induits par des chocs sanitaires comme les pandémies, qui ont plutôt tendance à impacter la main-d'œuvre, réduisant momentanément le niveau de l'activité économique lorsque le taux de mortalité est élevé, sans pour autant affecter durablement de potentiel de production des entreprises. L'exemple de l'épidémie de la Covid 19 a montré aussi un impact tant sur l'offre que sur la demande à travers la contraction de l'activité suite aux mesures d'endiguement. Faut-il aussi souligner le comportement des agents économiques qui, face à l'incertitude (par exemple aux premières heures de l'épidémie de la Covid), favorisent par précaution l'épargne au détriment de la consommation. Pendant l'épisode Covid, certains produits comme les kits sanitaires, les masques ou des produits de première nécessité ont vu leur demande énormément augmenter compte tenu du niveau d'incertitude de la situation. Ces événements exceptionnels sont source de tension et ne sont pas de nature à favoriser la stabilité de l'activité économique.

Dans le but de prévoir les impacts économiques et les profils de reprises des économies suite à d'éventuelles catastrophes, il est donc important de catégoriser les catastrophes, afin d'étudier la nature et l'impact des chocs qu'elles génèrent.

Les catastrophes peuvent être catégorisées suivant les risques qui donnent lieu à leur apparition. Ainsi, d'après le rapport de l'OMC «rapport sur le commerce mondial 2021», on distingue deux types de risque : d'abord les risques naturels qui sont liés aux menaces que représente le déchaînement des éléments de la nature. Ils peuvent être géophysiques, météorologiques, climatologiques, hydrologiques ou biologiques. Ces risques sont de façon indirecte aggravés par les activités humaines (Kopoboru Aguado (2019)). Nous avons ensuite les risques anthropiques qui sont directement liés aux faits de l'homme, subdivisées en deux sous catégories :

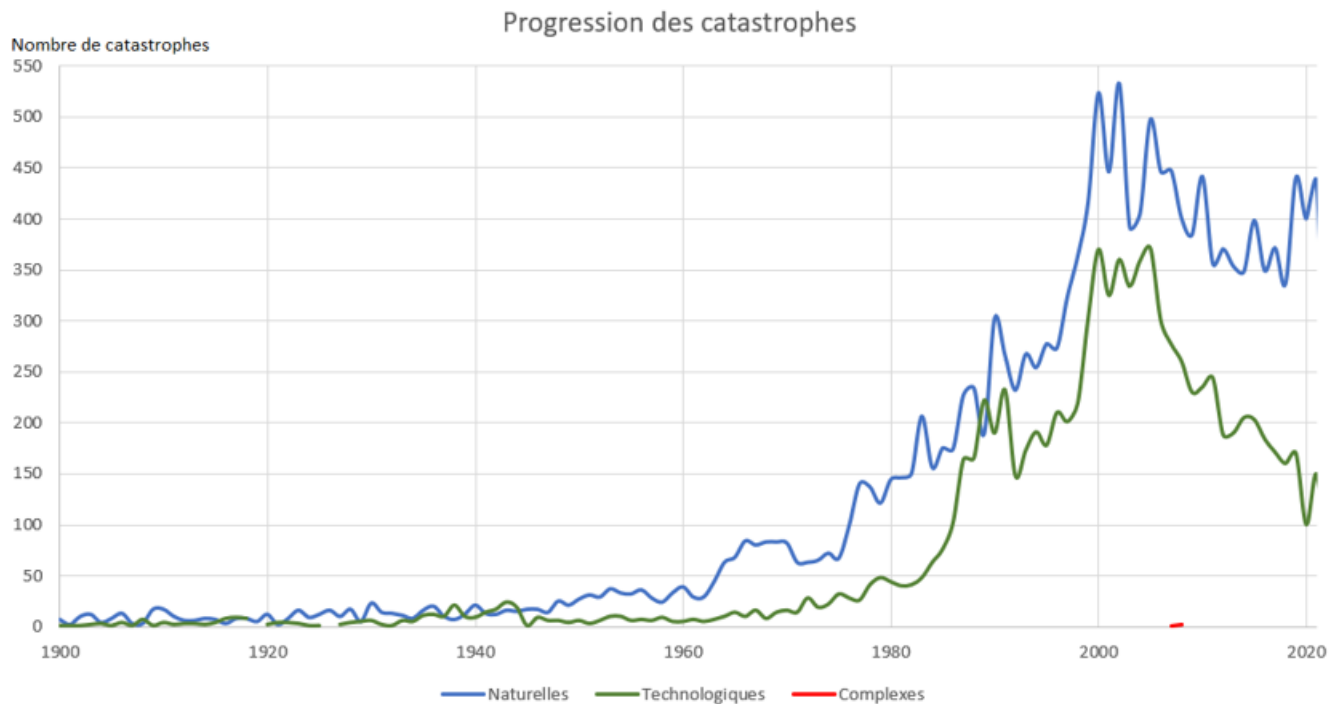
- les risques socio-économiques (les conflits armés, les crises économiques et financières, les crises socio-politiques ou institutionnelles),
- et les risques technologiques et opérationnels (risque d'attaques informatiques, accidents de transport, accidents industriels, autres dysfonctionnements opérationnels). Du point de vue de l'interaction et de la combinaison des risques indépendamment de leurs natures, la réalisation d'un risque peut avoir des impacts sur la probabilité de réalisation ou l'ampleur des effets d'une autre catastrophe formant ainsi des risques complexes qui imbriquent plusieurs menaces en son sein. Comme fait saillant, nous pouvons citer le conflit armé au

Yémen (depuis le 16 septembre 2014) qui a mis à genou l'économie du pays (une chute du PIB qui serait de plus de 34,7% en 2015), d'après les chiffres de la Banque Mondiale, donnant lieu à l'une des famines et des formes de sous nutritons les plus sévères, avec un manque d'eau potable pour les populations déplacées. Cette situation (sous nutrition et manque d'eau potable et de sanitaire) a donné lieu à un risque important d'émergence d'une épidémie de choléra. Ce risque s'est réalisé en 2016 et à plusieurs reprises ensuite par l'apparition de plusieurs épidémies de choléra dont la plus récente date de 2021 (17 décès et 26 891 cas suspects) selon les chiffres de l'UNICEF, qui est tout de même moins sévère que celle de 2020 (81 décès et 221 847 cas suspects), grâce à l'action des ONGs.

La catastrophe nucléaire de Fukushima est l'un des épisodes les plus tragiques des catastrophes complexes industrielles. Survenue le 11 mars 2011 à Fukushima au Japon, elle reste un exemple type de catastrophes complexes (combinant les risques naturels et industriels). A l'origine, un puissant séisme de magnitude 9,1 sur l'échelle de Richter, suivi d'un tsunami qui a entraîné plus de 18.000 pertes en vies humaines. Cette catastrophe va occasionner l'endommagement de la centrale nucléaire de Fukushima entraînant ainsi la deuxième pire catastrophe atomique après les bombardements atomique d'Hiroshima et de Nagasaki au Japon les 6 et 9 Août 1945 qui eux, entraînent entre 103.000 et 220.000 pertes en vie humaine (sans compter les autres victimes contaminées aux radiations radioactives). Plus récemment, le 04 août 2020, survenait une importante explosion au port de Beyrouth au Liban causée par un mauvais stockage d'environ 2.750 tonnes de nitrate d'ammonium et faisant officiellement plus de 200 pertes en vies humaines et plus de 300.000 déplacés. D'après les chiffres de la Banque Mondiale, 56% des unités commerciales ou de production de Beyrouth ont été endommagées. L'impact de cette catastrophe pour une économie déjà en proie à des crises politiques et en difficulté économique et financière dès avant l'apparition de crise de la Covid, est tout simplement énorme. Le coût de la reconstruction des dégâts est estimé par la BM à entre 3,8 à 4,6 milliards de dollars américains, auquel s'ajoutent les pertes en termes de flux monétaires de plus de 3 milliards (Hariri et al. (2021)). D'après les mêmes sources, le PIB du Liban a chuté de 52 milliards à 21,8 milliards de dollars état-uniens entre 2019 et 2021, soit une chute de plus de 58% et qui représente l'une des plus brutales de son histoire.

Les risques peuvent ainsi interagir indépendamment de leur nature, donnant lieu à une combinaison pernicieuse de plusieurs risques et qui peut aboutir à des catastrophes complexes.

FIGURE 2.1 – fréquence des catastrophes (naturelles, technologiques et complexes)



Source : Base de données EM-DAT

Une autre catégorisation des catastrophes est relative à sa localisation, c'est-à-dire l'étendue de l'espace géographique impactée. Une catastrophe peut avoir un impact international comme la plupart des grandes pandémies qui ont touché l'ensemble des continents à la fois (cas par exemple d'épidémie actuelle de la Covid 19 ou encore de la peste noire entre 1347 et 1353) ou simplement localisée en un lieu géographique (ville, pays, région) mais avec des impacts très lourds pour les habitants mais aussi pour l'économie de la localité, comme fut le cas du tremblement de terre du 14 août 2021 en Haïti, dans la péninsule sud, de la Grand'anse et des Nippes avec une magnitude de 7,2 sur l'échelle de Richter et qui a fait 2 246 pertes en vies humaines, 12 763 personnes blessées et 329 disparues et avec une estimation du total des besoins de plus de 1,9 milliards de dollars américains (soit plus de 30% du PIB haïtien de 2021) d'après les chiffres officiels du ministère haïtien de la planification et de la coopération externe dans son rapport "évaluation post désastre en Haïti, séisme du 14 Août 2021 dans la péninsule du sud" .

TABLE 2.1 – Occurrence des catastrophes par continent de 1900 à 2021

	Afrique	Amérique	Asie	Europe	Océanie
Biologique	17,99%	3,33%	3,57%	1,55%	3,78%
Climatique	7,19%	6,23%	2,70%	5,17%	9,96%
Complexe	0,09%	0,04%	0,06%	0,03%	-
Extraterrestre	-	-	-	0,03%	-
Géophysique	1,86%	7,70%	9,85%	6,69%	11,35%
Hydrologique	23,00%	26,87%	26,16%	23,48%	23,20%
Météorologique	6,14%	28,08%	19,72%	25,84%	43,76%
Technologique	43,72%	27,76%	37,96%	37,21%	7,94%
Total	100%	100%	100%	100%	100%

Source : Base de données EM-DAT

A partir du tableau 1 qui porte sur l'occurrence des catastrophes naturelles par continent, nous pouvons tirer trois enseignements.

- D'abord, l'occurrence des catastrophes de type extraterrestre (qui représente un type particulier de phénomènes naturels que sont les chutes de météorites) est quasi nulle sur l'ensemble des cinq continents. Une seule réalisation de catastrophe extraterrestre est mentionnée dans la base EM-DAT, celle qui correspond à la pluie de météorites le 15 février 2013 dans la région de Tcheliabinsk (peu habitée) mais qui a fait tout de même près de mille blessés. Aussi, le risque de catastrophes complexes (selon la base EM-DAT) reste aussi très négligeable, moins de 1% des réalisations de catastrophes sur l'ensemble des continents. A noter tout de même que la catastrophe de Fukushima en 2011 au Japon, qui pourrait être un exemple type de catastrophes complexes, n'est pas comptée comme telle dans la base de données EM-DAT.

- Ensuite les risques technologiques sont en termes de réalisation, les plus récurrents comparés aux autres risques sur les continents africain (43,78%), asiatique (37,96%) et européen (37%). Pourtant ils ne représentent que 27,76% de réalisations en Amérique et 7,94% en Océanie. Toutefois pour ces deux continents les risques les plus élevés sont d'ordre météorologique.

Nous nous intéresserons plus particulièrement ici aux catastrophes naturelles, bien évidemment en gardant à l'esprit que l'activité humaine n'est pas à dissocier de l'ampleur des pertes économiques provoquées par les catastrophes naturelles (Pielke Jr et al. (2008)). Les raisons sont diverses et variées. D'abord l'augmentation des populations dans les zones à risque, l'augmentation des investissements dans ces zones, la dégradation des habitats naturels (les construction se font au détriment des écosystèmes qui constituent une barrière

naturelle aux intempéries), la dépendance de certaines catégories socio-professionnelles à des activités sensibles aux aléas naturels (pêche, agriculture), mais aussi les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la planète qui, elles influencent l'occurrence et l'ampleur du phénomène. Par exemple, s'il survenait aujourd'hui un ouragan d'ampleur identique à celui de Katrina de 2005, les dégâts pourraient être de plusieurs fois supérieurs à ceux de Katrina compte tenu de l'installation des populations et de nouveaux investissements (Pielke Jr et al. (2008)). Certaines villes se transforment en mégacités en dépit de leur exposition de plus en plus peuplée. L'État de la Floride reste très attractif notamment pour le climat et ses côtes.

2.2 Les catastrophes naturelles

On peut répartir les catastrophes naturelles en six (6) sous-groupes : catastrophes biologiques, géophysiques, climatologiques, hydrologiques, météorologiques et extraterrestres.

Définition des risques associés aux catastrophes naturelles

— Les risques climatologiques :

sont ceux qui sont en lien avec les perturbations du climat et qui se manifestent à l'échelle de la planète et sur une durée relativement longue (plusieurs années). Il s'agit entre autres de températures extrêmes, de sécheresses, de la fréquence des feux de forêt à des endroits géographiquement éloignés.

— Les risques météorologiques :

qui se situent à une échelle plus locale et sur une durée de quelques jours, contrairement aux perturbations climatologiques. Elles se manifestent lorsque les constantes météorologiques (températures, précipitations, vitesse de l'air) qui sont des valeurs précises pour une localité à un moment donné, atteignent un certain seuil et donnent lieu à des désastres comme des tempêtes, des inondations, ou destruction de cultures.

— Les risques hydrauliques :

elles sont liées aux autres perturbations climatologiques et peuvent être de deux types, soient des inondations (généralement dues aux crues lors de fortes précipitations) ou des étiages dues à une surexploitation des cours d'eau et qui peut entraîner l'assèchement des terres cultivables et une baisse des récoltes pour certaines localités.

— Les risques géophysiques :

Les séismes ou les éruptions volcaniques, qui sont liés à l'activité sismique des plaques rigides lithosphériques et qui peuvent se combiner à d'autres facteurs, notamment sanitaires pour engendrer un désastre humanitaire. Ils sont en général localisés dans des

zones faiblement résistantes aux mouvements des plaques tectoniques, ce qui explique que certaines zones sont plus exposées (Haïti et Japon par exemple).

— Les risques biologiques :

Qui peuvent naître de l'émergence ou de la réémergence d'épidémies. La modification du climat peut favoriser la survenue d'une telle catastrophe.

Les chocs d'origine naturelle représentent l'un des défis auxquels les économies actuelles et probablement celles des générations à venir devront faire face. L'impact par exemple de la crise de la Covid 19 sur l'économie mondiale a été marquant : une augmentation du stock de la dette publique mondiale de plus de 4 800 milliards de dollars en fin 2021 (soit une hausse de plus de 17 points de pourcentage) suite aux interventions des gouvernements pour limiter l'impact de la crise, selon The Institute of International Finance. Le PIB mondial a chuté de plus de 3% en 2020 selon le FMI. Dans les sections suivantes de ce mémoire nous reviendrons plus en détail sur l'analyse des crises épidémiologiques.

2.2.1 Impact des catastrophes naturelles

En dépit de leur origine naturelle, les catastrophes naturelles augmentent en fréquence et en intensité avec l'impact de l'activité humaine. Les points d'entrechoquement entre catastrophes naturelles et activités humaines sont divers et variés.

A ce jour, face à l'apparition précoce et de plus en plus fréquente de catastrophes, on se rend compte que la plupart des prédictions étaient malheureusement moins pessimistes que la réalité à venir. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), dès 2017 la température moyenne sur la planète a été de 1,1 degrés Celsius supérieure à celle de l'ère préindustrielle et continuerait d'augmenter même si les émissions de gaz à effet de serre étaient arrêtées dès maintenant. Il faut encore se préparer pour les décennies à venir à plusieurs types de désastres auxquels le monde pourrait faire face. Ces désastres étant liés à la combinaison de plusieurs risques spécifiques (climatologiques, météorologiques, hydrauliques, biologiques ou géophysiques). Par exemple, les chutes de températures dues au dérèglement climatique d'avril 2021 dans le département du Vaucluse ont entraîné la perte de près de la moitié des récoltes de raisins, et à été reconnue comme étant un sinistre par un arrêté interministériel le 8 décembre 2021. Le lien changement climatique - chocs naturels se fera de plus en plus sentir avec le temps (Bousebata et al. (2019)) avec les conséquences qui en découlent (pertes en vies humaines, pertes économiques et impacts environnementaux). Il faut donc dès maintenant, non seulement œuvrer en amont pour réduire considérablement l'impact environnemental de l'activité économique, mais aussi préparer les économies pour une meilleure résilience structurelle aux catastrophes à venir.

Les chiffres montrent à suffisance l'impact économique de tels chocs. Le passage de l'ou-

ouragan Ida dans certaines villes américaines (notamment celles du nord, Philadelphie et New-York), ont eu un coût estimé par AccuWeather (service météorologique étatsunien) à 95 milliards de dollars (2021) pour un PIB pour la même année donnée par la Banque Mondiale de 22.675 milliards de dollars (2021), soit plus de 0,4% le PIB de la même année; qui rappelle d'ailleurs le passage de Katrina avec ses 1 836 morts et 108 milliards de dollars (2005) de dégâts. Des pluies torrentielles inondent l'Allemagne et la Belgique en juillet 2021. Des montées de température atteignant les 49° Celsius dans la ville de Lytton (Canada) en juillet 2021, ou encore les feux de forêt en Australie entre 2019 et 2020 qui ont eu d'énormes impacts socio-économiques et environnementaux. Autant de faits qui montrent l'importance des risques à considérer. Ces risques spécifiques peuvent se combiner et alourdir les conséquences d'éventuels phénomènes naturels. Lorsque nous revenons à l'exemple du récent passage de l'ouragan Ida aux Etats-Unis, c'est un fait qu'elle a rendu compliquée la gestion de la pandémie de la Covid pour les territoires concernés. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, le nombre de désastres liés aux phénomènes naturels a été multiplié par 5 entre les années 1970 et 2019. La détermination d'une relation causale ou du rôle imputable au réchauffement climatique suite à cette multiplication du risque de désastres liés aux phénomènes naturels reste délicate et demande toute la rigueur scientifique. C'est le rôle que s'est donné un réseau international de chercheurs autour de la discipline de l'attribution, le World Weather Attribution. D'après les conclusions du WWA, la montée de températures dans certaines régions du Canada ne serait quasiment jamais arrivée sans un dérèglement climatique entraîné par l'activité humaine ou encore les fortes précipitations qui ont entraîné des inondations dans certains pays de l'Europe de l'ouest ont été plus probables en raison du changement climatique.

Le réchauffement climatique rend de plus en plus probable la réalisation de ces risques ou expose à une plus grande vulnérabilité face à ces phénomènes. Il s'avère donc important de préparer les économies à faire face aux conséquences du réchauffement climatique d'autant plus que nous savons à travers les conclusions des experts du climat que la température de la planète continuera d'augmenter. Afin de suivre de façon objective l'évolution de la température de la planète, l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique) a mis sur pied une série d'indicateurs qui permettent de rendre compte de l'évolution moyenne de la température sur la planète par rapport à une période de référence (1961-1990). L'évolution de la température sur une période donnée est définie comme étant l'écart des moyennes de la période considérée et de la période de référence. Il ressort des statistiques de l'ONERC un réchauffement systématique de la planète avec le temps. Partant de 1940 on a un indicateur fortement négatif jusqu'en 1980, puis un réchauffement quasi systématique. On relève une température moyenne pour la période 2000-2009 supérieure de 0,47° Celsius de la moyenne de température de la période de référence 1961-1990. 2016 se trouve en tête des années les plus chaudes avec un écart de

0,86°C à la référence, suivi l'année 2020 puis de l'année 2019. Lorsque nous observons l'occurrence des incidents d'origine naturelle, on peut constater une croissance du nombre de désastres avec le temps (malgré les avancées technologiques et techniques qui permettent de les prévoir). Le nombre de catastrophes naturelles a la même tendance globale que le réchauffement de la planète.

Il n'est donc pas exclu, avec l'augmentation de la fréquence des incidents naturels, que la combinaison de ces risques avec d'autres types comme les épidémies, ne donne lieu à une catastrophe complexe de grande ampleur et entraîne d'importants dégâts, surtout pour les zones les plus touchées par la pauvreté.

2.3 Les catastrophes épidémiologiques

D'après Debré (2020), l'humanité entre probablement dans sa troisième phase de transition épidémiologique. La première transition épidémiologique qui date du néolithique est celle qui a vu l'apparition de l'agriculture et de l'élevage (les animaux sauvages ou domestiques vont servir de vecteur de transmission d'épidémies). L'hygiène de vie, la sédentarisation entraînent une certaine concentration de populations. Là sont autant d'éléments qui favorisent l'émergence des épidémies. La seconde transition épidémiologique (vers le 19ème siècle) est celle qui donna naissance aux progrès de la médecine avec la découverte du vaccin et des antibiotiques. On assiste alors à une nette augmentation de l'espérance de vie. La dernière transition épidémiologique serait celle que l'humanité en train d'amorcer, c'est-à-dire la surpopulation, les relations internationales de plus en plus sophistiquées, l'émergence de nouvelles maladies infectieuses ou la réémergence d'anciennes infections dont l'humanité a perdu l'immunité. Le revers des antibiotiques est qu'ils favorisent une sélection naturelle des microorganismes les plus résistants. A noter aussi que le changement climatique qui s'annonce aura un impact non négligeable sur l'habitat et le déplacement des vecteurs des épidémies que nous connaissons.

2.3.1 Brève histoire des grandes épidémies

Des épidémies ont marqué l'histoire de l'humanité par le nombre de morts et des coûts économiques importants :

- **La peste d'Athènes** : 430 – 426 avant Jésus Christ, c'est une fièvre typhoïde, venue d'Ethiopie, toucha l'Egypte, la Libye, puis Athènes et qui décida 1/3 de la population d'Athènes. Contribue au déclin d'Athènes.
- **La peste Antonine** : 165 – 166, elle est une forme de variole. La pandémie débute en Mésopotamie vers 165 pour ensuite atteindre Rome. Cette épidémie aurait fait plus de dix millions de morts.

- **La peste de Justinien** : 483 à 565,

est une peste bubonique qui décima trente à cinquante millions de personnes, soit la moitié de la population mondiale de l'époque.

- **La peste noire** : 1347-1353,

qui partie de la Chine, atteint l'Asie centrale, Afrique du nord, Italie et la France. Elle fera entre vingt-et-cinq et quarante millions de victimes.

- **La variole** : 15-17 ème siècles,

transporté de l'Europe en 1492 vers l'Amérique, elle avait un taux de létalité de 30% , compte tenu de ce taux de mortalité élevé et de sa contagiosité, elle aurait coûté la vie à vingt millions de personnes et aurait décimé une grande partie de la population autochtone de l'Amérique.

- **La grippe espagnole** : 1918-1919,

D'origine asiatique virus H1N1, arrive aux usa, travers l'atlantique pour atteindre l'Europe, elle fit vingt à trente millions de victimes en Europe et plus 50 millions à l'échelle mondiale.

- **La grippe asiatique** : 1956-1957,

elle a été causée par le virus influenza H2N2 qui a éclaté en Chine, elle sévit en Asie avant d'atteindre l'Australie, l'Amérique, l'Europe et l'Afrique, il va muter en H3N2.

- **Le SRAS (syndrome respiratoire aigu sévère)**,

l'épidémie est apparue en Chine en 2002, elle devient mondiale en 2003 et fait environ 800 victimes. Cette épidémie a coûté 70 milliards d'euros à l'économie mondiale en deux ans (2002-2003). C'est une forme de grippe contagieuse qui a touché plus 60 millions de personnes aux Etats-Unis.

- **Ebola (2014-2016)** :

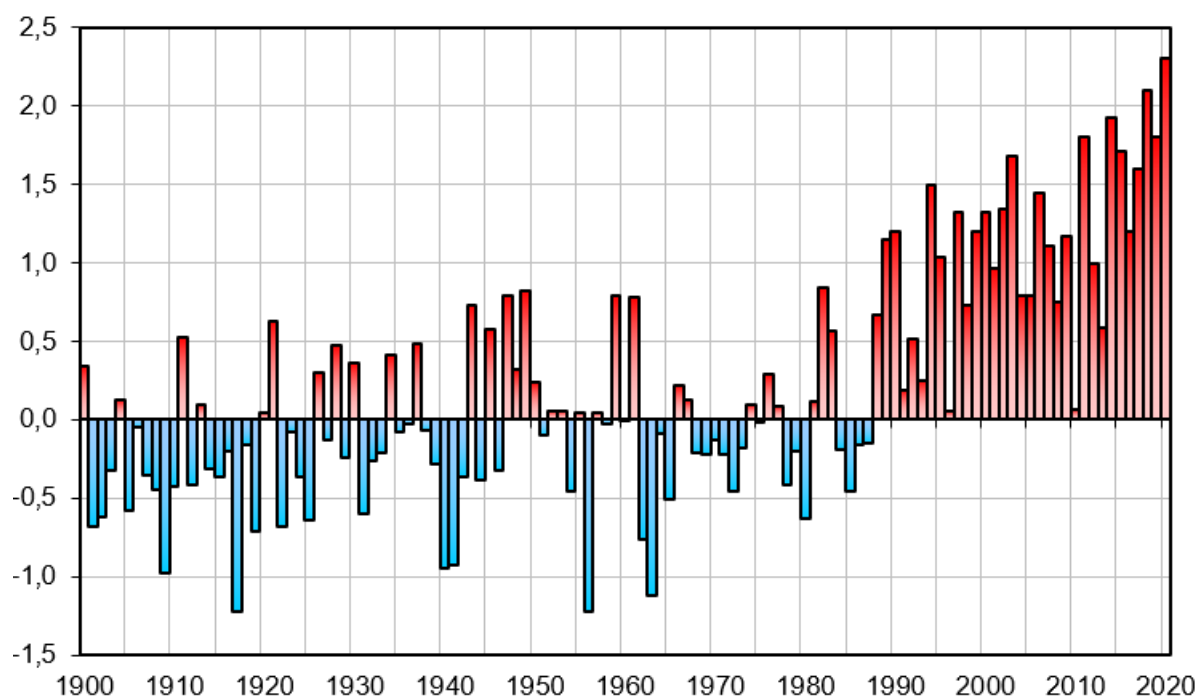
c'est une épidémie qui s'est peu répandue, grâce à la réactivité concertée du monde entier pour arrêter ce fléau, mais avec un taux de létalité très élevé. L'épidémie a décimé environ 11 325 personnes en Guinée, Sierra Leone et Liberia. Elle aurait coûté 4,5 milliards de dollars états-uniens aux pays d'Afrique de l'ouest touchés (Guinée, Sierra Léone et Libéria) entre 2014 et 2015.

L'apparition du SARS-CoV 2 en ce début de 2020, nous rappelle encore que ce risque est toujours d'actualité. La contamination interhumaine indique la mutation rapide de ce virus. La transmission des virus est liée à des vecteurs comme les chauves-souris, qui en sont les réservoirs naturels et qui peuvent le transmettre à d'autres animaux, tout comme à l'homme. La transmission inter-espèces est facilitée par les différentes mutations du virus qui peuvent engendrer des formes les plus contagieuses et les plus virulentes de la maladie. Les 2/3 des infections sont issues de la faune (domestique ou sauvage). D'autres épidémies peuvent naître de la résurgence d'autres d'épidémie oubliées suite à un déficit d'immunité.

2.3.2 Réchauffement climatique et catastrophes Naturelles

Le réchauffement climatique, est dû d'une part aux forçages naturels : l'impact solaire et des volcans et d'autre part aux activités humaines (les forçages anthropiques) qui sont principalement les émissions des gaz à effet de serre (vapeur d'eau -H₂O, dioxyde de carbone-CO₂, le méthane CH₄, l'oxyde nitreux N₂O et l'ozone O₃), la déforestation. S'il n'est pas possible de contrôler l'origine naturelle du réchauffement climatique, les seuls contrôles dont on dispose pour maintenir le climat de la planète à un niveau acceptable sont les forçages anthropiques, ceux qui sont liés à l'activité humaine.

FIGURE 2.2 – Evolution des températures moyennes annuelles de 1900 à 2020 en °C

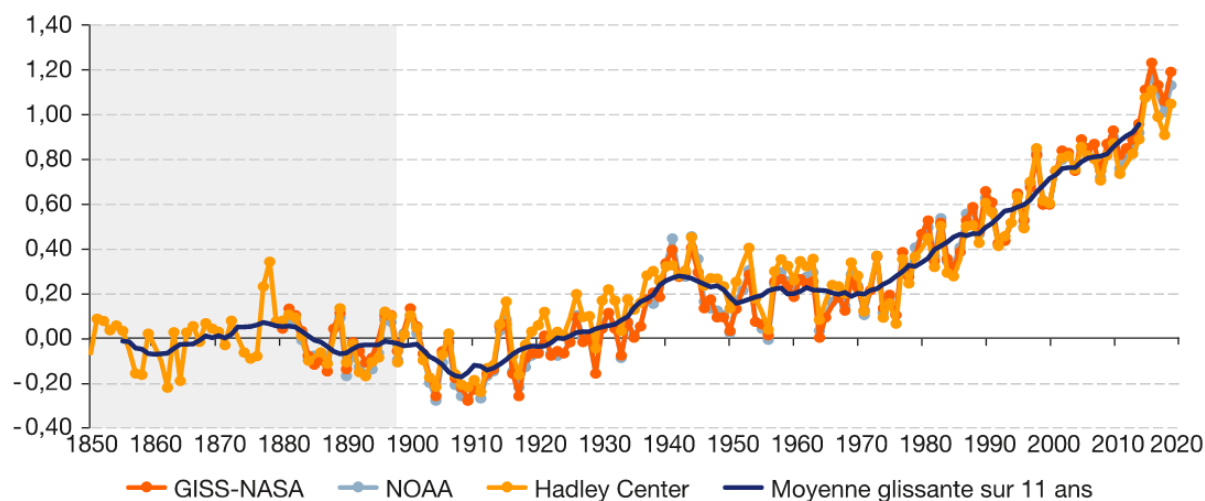


Source : Météo France, données

Le degré de réchauffement de la planète que nous connaissons aujourd'hui impacte l'occurrence et l'ampleur des catastrophes naturelles. Face à l'apparition de plus en plus fréquente de catastrophes naturelles, on se rend compte que les prédictions étaient malheureusement moins pessimistes que la réalité à venir. La température sur la planète a augmenté de plus de 1 degrés Celsius depuis l'ère préindustrielle (l'année 1850 est choisie comme référence) et continuera d'augmenter encore même si les émissions de gaz à effet de serre sont arrêtées dès maintenant. Si rien n'est fait, les prévisions du GIEC font état d'une température moyenne sur la planète de 6,5 à 7 degrés Celsius à horizon 2100, compte tenu de la croissance économique alimentée par les énergies fossiles d'aujourd'hui. L'écart moyen des températures entre les périodes 1850-1900 et 2011-2020 est de 1,09° Celsius, soit une augmentation de 1,59° Celsius sur les continents et 0,88 au niveau des océans. Il faut donc nécessairement se préparer pour les décennies à venir à des vagues de perturbations climatiques avec des impacts importants : perte en vie humaines (tempêtes,

inondations), économiques (récoltes, matières premières) et environnementales.

FIGURE 2.3 – Evolution de la température moyenne annuelle mondiale entre 1850 et 2020, données

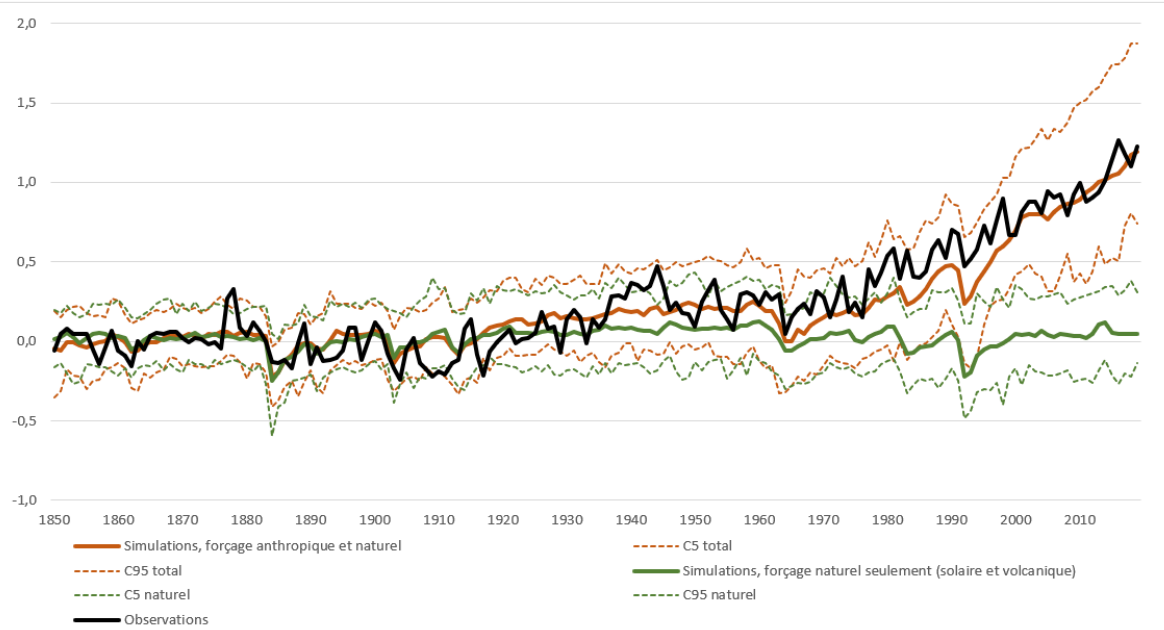


Note : en grisé la période préindustrielle 1850-1900.

Sources : NASA ; NOAA ; Hadley Center

FIGURE 2.4 – Evolution de la température moyenne annuelle de la planète (1850 à 2020), données

Anomalie des températures (référence 1850-1900)

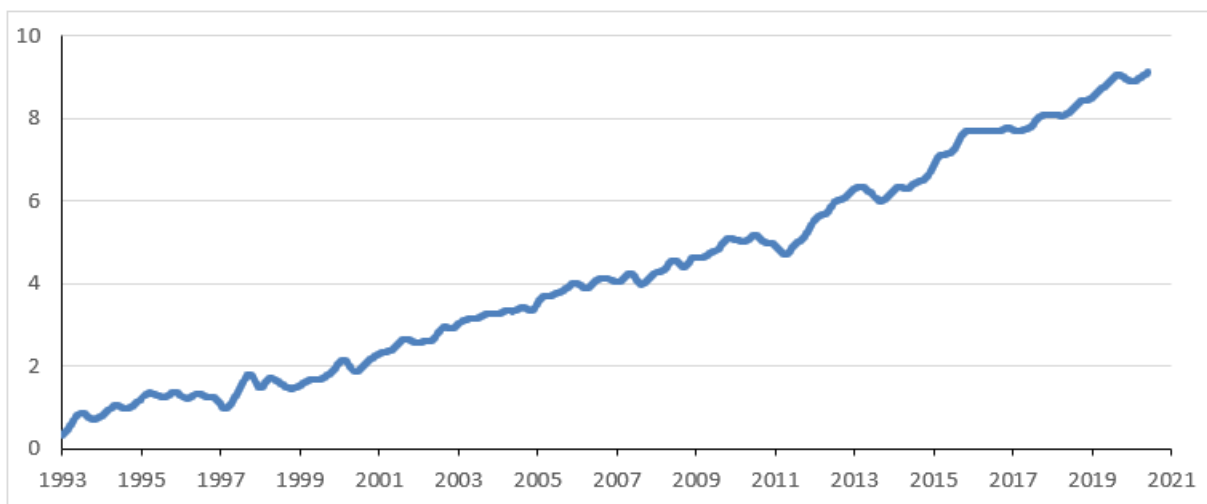


Ces aléas risquent de se poursuivre avec des fréquences et des impacts de plus en plus importants comme des problèmes d'approvisionnement, l'impact sur la production, des pertes de productions agricoles ou la rareté momentanée de certaines matières premières qu'il convient de prendre en compte dans l'analyse économique.

Une autre conséquence du réchauffement climatique et qu'il convient de prendre en compte ici est la montée du niveau général des mers. La hausse continue de la température sur

la planète depuis le début de l'ère industrielle a eu pour conséquence directe la fonte des calottes glaciaires (notamment du Groenland, de l'Antarctique) et des glaciers de montagne. La plupart des zones côtières se retrouvent ainsi dans des zones inondables avec une montée des eaux de 3,5 mm par an en moyenne. D'après El Hage et al. (2011), une montée de 0,6 mètres serait attendue du côté est de la méditerranée d'ici 2100. En 2050, trois cents millions de personnes risquent d'être touchées par le phénomène, entraînant ainsi des millions de déplacés. La menace est encore plus grande pour certaines îles qui sont tout simplement condamnées à disparaître sous les eaux. C'est le cas par exemple des îles Marshall au sud de l'océan pacifique et à moins de deux mètres de la mer. La montée des eaux toucherait également la France ((Redaud et al., 2002)) avec un risque très élevé pour les villes comme Dunkerque et Calais.

FIGURE 2.5 – Evolution du niveau moyen des mers depuis 1993 en cm



Source : E.U. Copernicus Marine Service Information

Les différents scénarios SSP (Shared Socioeconomic Pathways)

Afin de prévoir l'impact de l'activité économique sur le climat à horizon 2100, le GIEC a réalisé cinq scénarios possibles en fonctions des décisions qui seront prises et appliquées dès maintenant et de l'orientation socio économique, politique et technologique des sociétés (Riahi et al. (2017)). Ces scénarios, appelés SSP (Shared Socioeconomic Pathways) sont au nombre de cinq allant du plus optimiste au plus pessimiste.

- **le SSP1** représente le scénario le plus ambitieux en termes d'actions à mener en faveur du développement durable, il demande une forte coopération entre les Etats pour un développement inclusif, mais un défi faible en termes d'atténuation et d'adaptation. Il nécessite l'amélioration des conditions de vie des hommes par la réduction des inégalités à l'intérieur des pays mais aussi une réduction de l'écart entre pays développés et moins développés. Les services comme la santé, l'éducation devront être améliorés et disponibles

pour tous. La préférence des agents économiques devra être tournée vers les produits moins intensifs en énergie et éco-responsables.

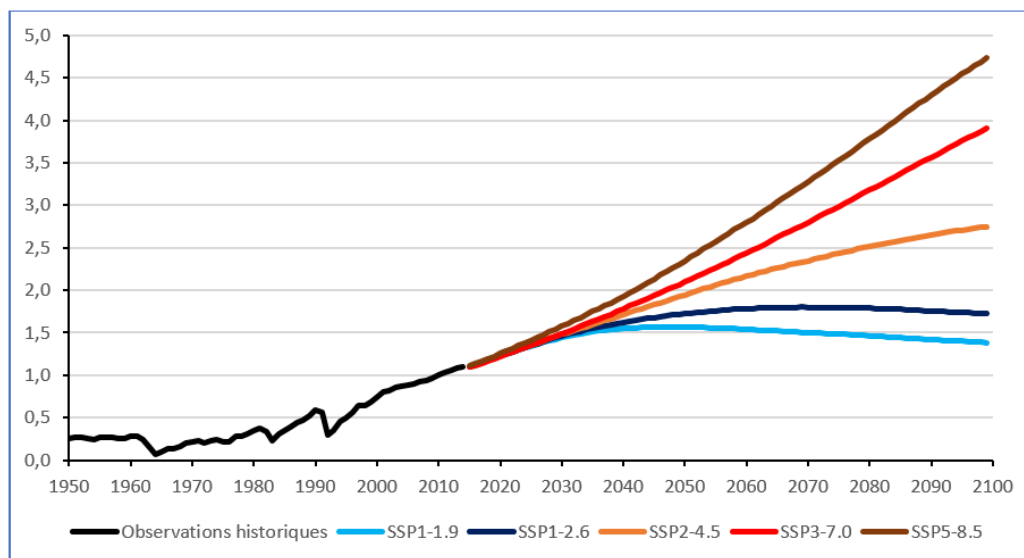
- **le SSP2** est fondé sur l'hypothèse d'une continuation des tendances socioéconomiques et technologiques actuelles et demande un effort moyen en termes d'atténuation et d'adaptation. Les pays ne se coordonnent pas en matière d'actions à mener pour un développement durable mais agissent chacun de son côté afin d'atteindre ses propres objectifs, les inégalités continuent de se creuser. Malgré les efforts des pays et le fait que la croissance soit moins énergivore et que la croissance de la population se stabilise, l'environnement continue de se dégrader.

- **le SSP3** demande de gros efforts dans l'atténuation et l'adaptation. Il est fondé sur l'hypothèse d'une rivalité nationale ou régionale qui attise le nationalisme et les conflits entre Etats. L'objectif des gouvernements est tourné vers des intérêts nationaux et de sécurité au détriment des secteurs clés comme l'éducation et la santé. La faible priorité accordée à la protection de l'environnement conduit à sa détérioration. Les inégalités entre Etats se creusent ainsi qu'à l'intérieur même des Etats. La croissance de la population continue d'augmenter dans les pays moins développés mais chute dans les pays développés.

- **le SSP4** est marqué par les inégalités. Ce scénario est fondé sur l'hypothèse d'aucun effort en matière de développement durable. Il existe une forte inégalité entre les classes les plus aisées qui bénéficient d'une part importante des richesses (une augmentation de l'indice de Gini) et qui sont responsables en grande partie de la dégradation de l'environnement, tandis que les classe les plus modestes ont peu accès aux formations de qualité et offre que leur force de travail. Le tissu social se fragilise et donne lieu à des conflits récurrents. Les questions environnementales représentent un défi qu'à l'échelle locale et se combinent à d'autres défis existants ce qui conduit à une alternance entre énergies fossiles et énergies renouvelables. Le scénario SSP4 représente un important défi pour l'adaptation et un défi faible pour l'atténuation.

- **le SSP5** est le pire scénario en matière de protection de l'environnement. Il fait l'hypothèse d'une utilisation abusive des ressources naturelles, notamment des énergies fossiles. C'est un scénario fondé sur l'hypothèse d'une économie fondée sur un marché compétitif et le développement technologique rapide. La confiance des élites est fondée sur la confiance au développement économique pour le problème du développement durable. La croissance réduit la pauvreté, ce qui permettrait de faciliter le processus d'adaptation. C'est un défi élevé en matière d'atténuation mais un défi faible en termes d'adaptation.

FIGURE 2.6 – Scénarios d'évolution de la température de la planète en ° Celsius



Données du GIEC

Le changement climatique augmente la fréquence, l'intensité et l'étendue spatiale des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes qui touchent les pays mais de différentes manières selon la situation de chaque pays : - géographique, - dépendance aux ressources naturelles sensibles, - niveau de développement, et peut engendrer des inégalités, la pauvreté, l'insécurité alimentaire et réduire à néant des années de progrès en termes de développement.

A l'intérieur des pays, les populations ne sont pas exposées de la même manière aux risques de catastrophes climatiques. L'impact est plus important pour les populations les plus défavorisées qui sont exposées et vulnérables. Plus particulièrement des personnes dépendantes des activités qui sont sensibles à ces phénomènes. Voir objectifs 1 et 10 Objectifs Développement Durable 2030.

En l'absence d'actions en faveur de ces personnes exposées, on peut s'attendre à un cercle vicieux qui exacerbe la pauvreté et l'inégalité sociale. En guise d'illustration, on peut observer qu'une exposition récurrente aux inondations, à l'insécurité alimentaire peut être source de dégradation sanitaire, de perte de revenu. Ces différents facteurs réunis entraînent une vulnérabilité plus importante face à d'autres catastrophes naturelles à venir. La résilience et la réduction des risques liés à ces catastrophes dépendent donc de la réalisation des objectifs de lutte contre la pauvreté et des inégalités sociales adaptées dans les objectifs ODD 2030.

Une remarque est que, si en termes de dommages matériels en valeur les pays développés semblent subir de grosses pertes matérielles. Pour les pays moins développés, le poids de l'économie est tout simplement énorme (en proportion du PIB) et les pertes en vie

humaines peuvent être considérables. Comme fut et à plusieurs reprises le cas en Haïti.

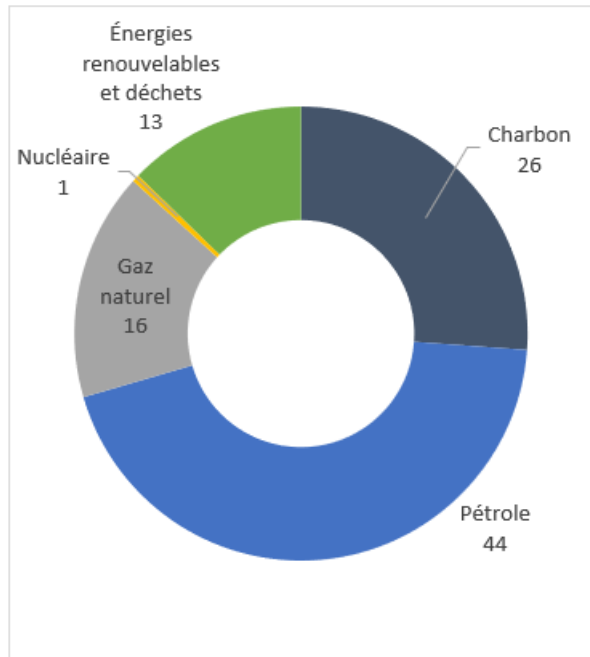
Pour ce faire, les politiques de développement doivent être les plus inclusives possibles pour permettre de garantir l'amélioration des conditions de vie et de travail, l'accès aux marchés et à des services de base pour les plus défavorisés. Un développement résilient aux variations climatiques pour lutter efficacement contre la pauvreté doit être fondé sur la réduction des inégalités sociales. Contrairement au paradigme du ruissellement qui prévalait dans les années 1980, il est montré suite à différentes recherches sur le développement des pays qu'une croissance économique importante ne rime pas toujours avec développement humain. Si les PIB par habitant des pays ont tendance à converger, on peut constater qu'à l'intérieur des pays les inégalités ont plutôt tendance à se creuser, ce qui permet une meilleure compréhension des liens entre les objectifs économiques et sociaux du développement. Ainsi, une politique propice à la résilience doit prendre en compte l'éducation, la santé, la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau potable, etc. Dans les pays en voie de développement, l'insuffisance de l'investissement dans le capital humain, la croissance excessive de la population constituent un frein à un développement harmonieux.

De l'énergie pour demain, et pour tous

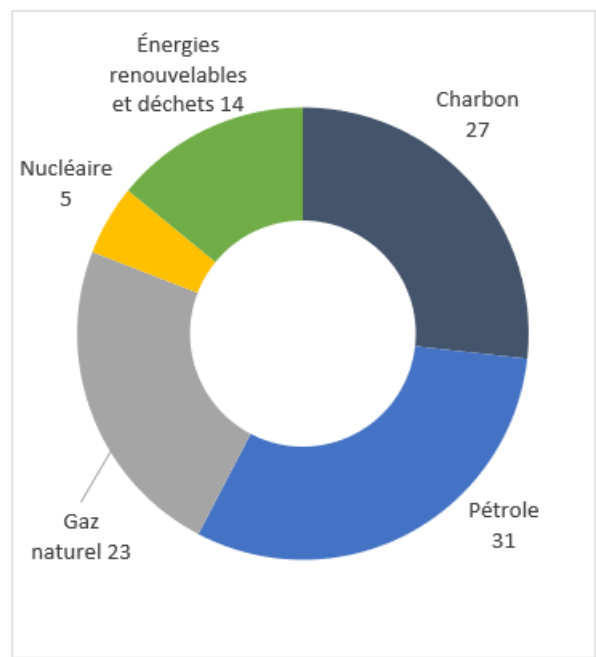
Depuis le début de l'ère industrielle, les besoins en énergie de l'humanité n'ont cessé d'augmenter. Jusqu'à nos jours, un large pan de la demande d'énergie est couvert par les énergies fossiles (le gaz, le pétrole, le charbon) qui sont d'une part limitée (elles sont des ressources non renouvelables à l'échelle humaine) et d'autres part constituent la principale source des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le défi majeur pour nos économies d'aujourd'hui et des générations à venir est donc de pouvoir s'orienter vers d'autres sources d'énergie moins polluantes et plus vertes. La transition énergétique nécessite un changement de paradigme. La croissance économique, la production intérieure sont des notions qui doivent être amenées à se réinventer en prônant le respect de l'environnement et le bien-être des générations à venir. Le changement de modèle économique pour un développement plus vert a certainement un coût économique notamment en termes de recherche et développement mais aussi en termes de coûts supplémentaires supportés pour le renoncement en partie à l'utilisation d'énergies polluantes. Au cours du temps, nous assistons à une faible augmentation en proportion de l'utilisation des ressources renouvelables (13% en 1971) contre seulement (14% en 2019), pourtant, avec le développement scientifique, la voie s'éclaircit de plus en plus. L'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie à échelle industrielle n'est plus qu'une fiction mais bien des perspectives sérieuses. Nous savons aujourd'hui par exemple que la quantité d'énergies que reçoit la planète du soleil en une année ($10^{15}Wh$) est de l'ordre de 800 fois supérieure à la consommation actuelle d'énergie sur la même période. Des recherches pourraient, dans les années à venir, permettre d'améliorer le rendement des panneaux photovoltaïques.

FIGURE 2.7 – Mix d'énergie dans le monde en %

1971 (5 497 Mtep)



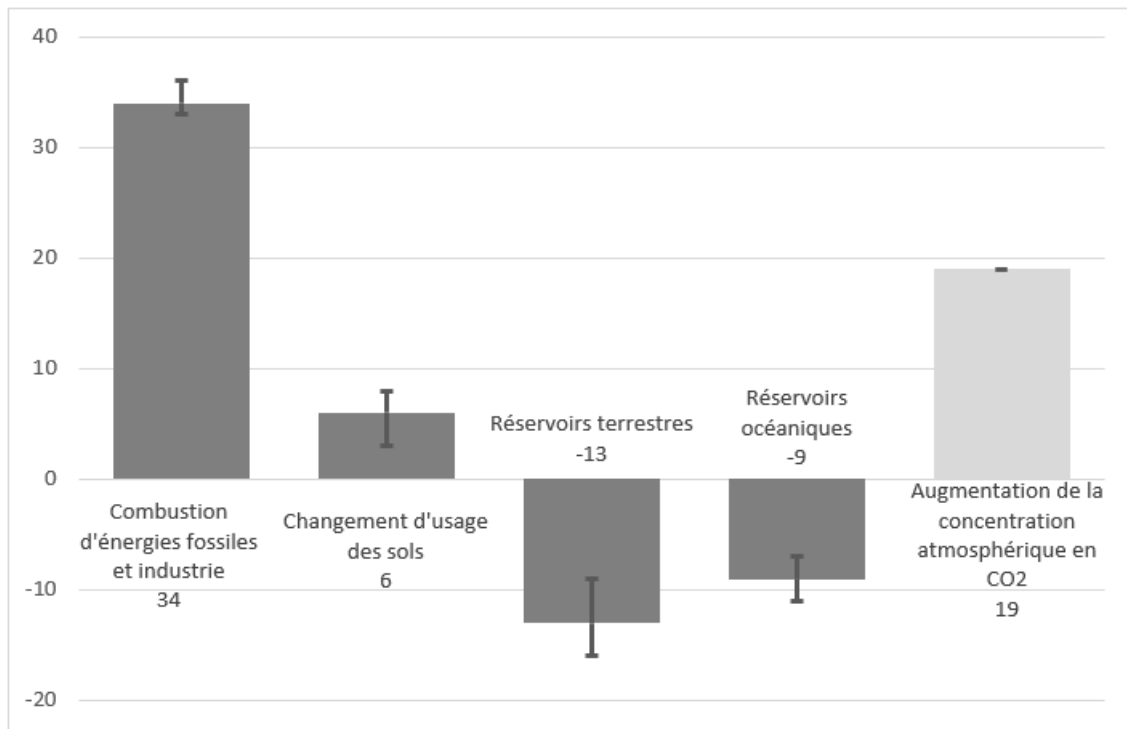
2019 (14 486 Mtep)



Sources : I4CE, 2021, à partir de *Global Carbon Budget 2020* et *Banque Mondiale, 2021*

Le changement de modèle économique est donc nécessaire dans ces conditions et doit reposer d'une part sur l'incitation à adopter d'autres sources d'énergies que les énergies fossiles et de l'autre à réduire la consommation d'énergie en adoptant des comportements responsables et par l'innovation (l'utilisation de technologies moins énergivores). Au-delà des voix qui s'élèvent, l'humanité doit être en mesure de joindre les bonnes initiatives aux actes car le modèle actuel n'est tout simplement pas viable à long terme et demande un coût énorme en termes d'adaptation. Cet effort serait plus utile aujourd'hui dans l'atténuation. Il existe un déséquilibre de l'ordre de 20 Gt de CO_2 stockés dans l'atmosphère chaque année. Les puits à CO_2 (forêts, océans) sont à ce stade incapables d'absorber la totalité des émissions.

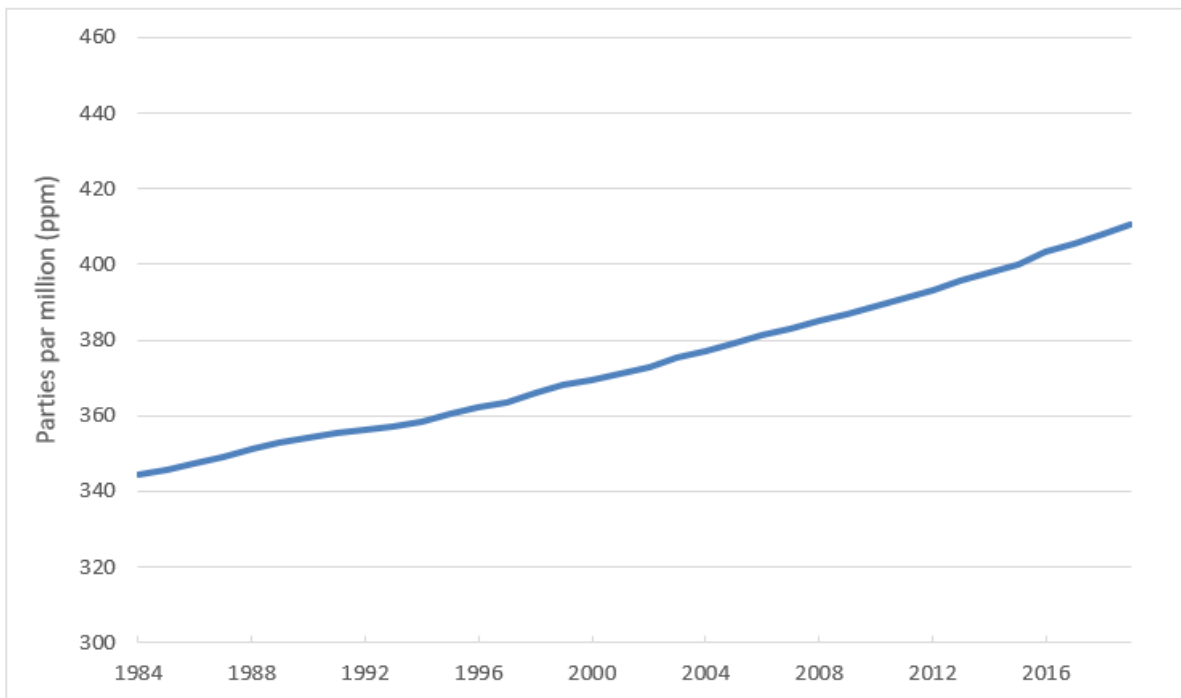
FIGURE 2.8 – déséquilibre entre émission de CO₂ et capacité d'absorption par les puits
(unité : Gt de CO₂ par an



Source : The Global Carbon Project, Global Carbon Budget, 2020

Il s'ensuit une concentration dans l'atmosphère de CO₂. Le taux d'accumulation s'établit à plus de 2 ppm (parties par million) chaque année, ce qui fait craindre une accélération du processus de réchauffement climatique.

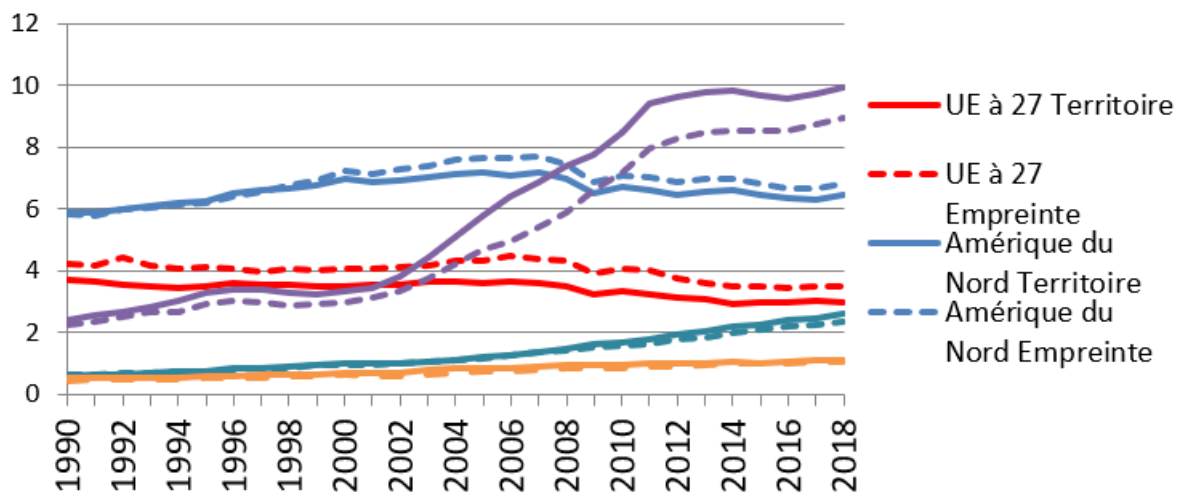
FIGURE 2.9 – Concentration atmosphérique de CO₂ en Partie Par Million (PPM)



Source : CMDGS sous l'égide de l'OMM, 2019

On assiste à une augmentation des émissions dans le monde. Si d'un côté on peut constater une baisse des émissions en Europe et un peu moins aux Etats-Unis, en Asie on assiste encore à des hausses d'émissions avec la Chine et l'Inde en tête.

FIGURE 2.10 – Emission internationale de CO₂ en Gt entre 1990 et 2018

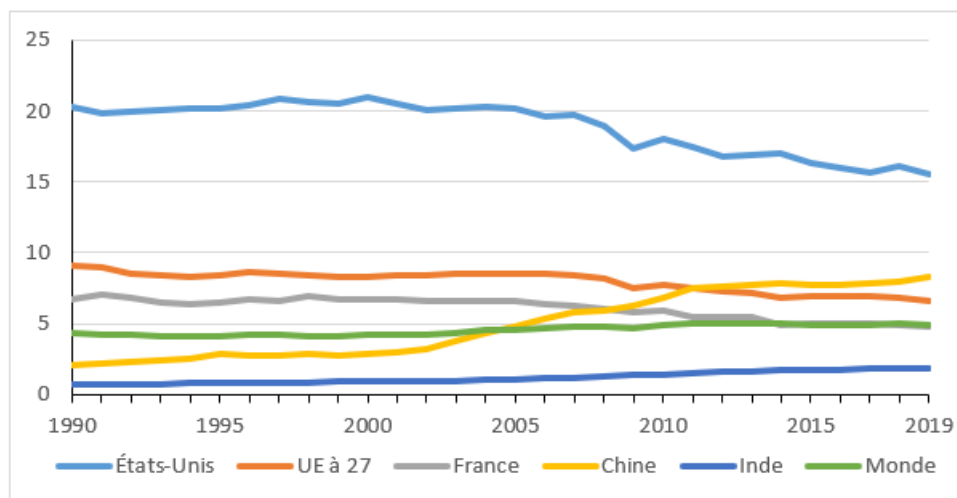


Source : AIE, 2021

On constate tout de même une baisse moyenne des émissions de CO₂ par habitant la plupart des pays. L'effet de la hausse en niveau des émissions de CO₂ aujourd'hui peut être imputable à l'augmentation de la population mondiale. En effet, la grande partie de ces émissions est due à la multiplication de voitures personnelles, même si les réglementations

sur ces véhicules sont de plus en plus renforcées.

FIGURE 2.11 – émission de CO₂ par habitant en tonne de CO₂/hab



Sources : SDES, d'après EDGAR, 2020 ; Banque mondiale, 2021

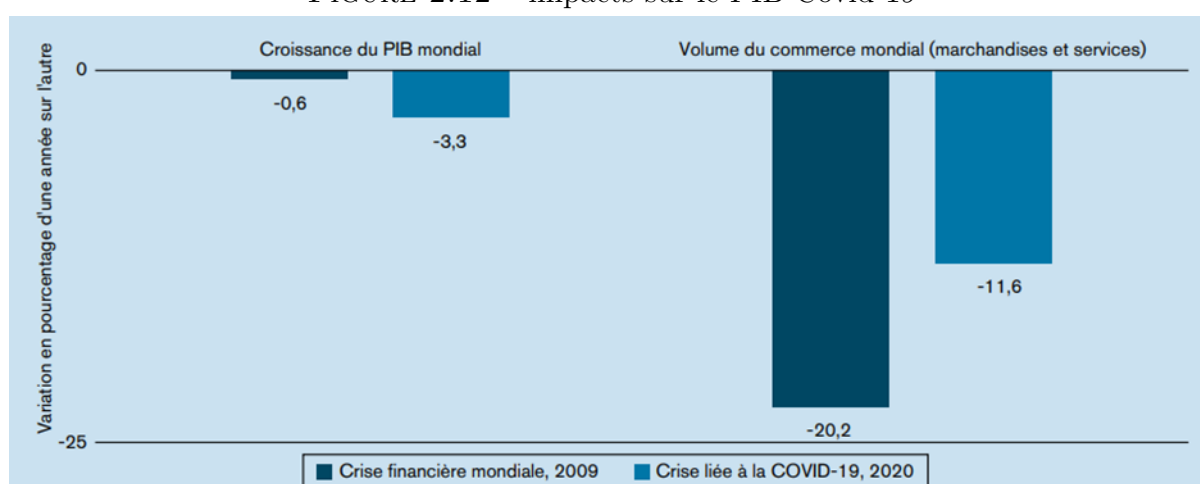
2.3.3 Le réchauffement climatique : un risque épidémiologique

Il existe une interaction des facteurs sociaux, écologiques et climatiques qui définissent le développement des maladies infectieuses et de leurs vecteurs. Il a été montré que les précipitations, les végétations étaient autant de facteurs qui favorisent le développement de ces vecteurs de maladies (Little et al. (2017)). Bien que les quartiers les plus aisés disposent plus de jardins, qui peuvent, a priori, être des habitats idéals, la réalité est que les quartiers les plus pauvres et les plus populaires, avec des locaux délabrés, offrent un cadre plus approprié au développement de ces vecteurs et des maladies qu'ils transmettent. Les populations les plus pauvres sont donc celles qui sont les plus exposées à une contamination par ces vecteurs. On peut aussi ajouter à cela que la densité de population dans ces quartiers peut être un facteur important de circulation d'une épidémie.

Il est aujourd'hui démontré un lien étroit entre le réchauffement climatique et le risque d'apparition de futures épidémies (Carlson et al. (2022)). Par exemple, la directrice du centre des sciences du climat de la Texas Tech University soutiendrait que le changement climatique devrait accroître l'espace géographique des maladies infectieuses comme la zika ou le chikungunya compte tenu des hausses de températures qui devraient rendre possibles le déplacement et la propagation des vecteurs de ces maladies. Et Emmanuel Drouet de l'Institut de Biologie de Grenoble aurait prévenu que le monde pourrait faire face à l'apparition de nouveaux agents infectieux dans les années à venir compte tenu de l'explosion des relations humaines, des perturbations des écosystèmes et du fait que nombreuses maladies infectieuses sont liées aux variations climatiques et au taux d'humidité. Actuellement, il y aurait 50 millions de personnes exposées à la dengue, et d'ici 2080 trois milliards de personnes supplémentaires pourraient l'être. Il précise qu'il n'existe pas

encore pour l'heure de vaccin efficace contre les quatre souches virales de ce virus. Autre impact du réchauffement climatique est le dégel des pergélisols qui pourrait ainsi libérer des restes d'animaux morts il y a des milliers d'années avec une possible réactivation des bactéries et de virus emprisonnés à l'abri de la lumière et à un degré d'acidité qui permet la conservation de matériaux vivants. En guise d'exemple, lors de l'été 2016 dans le grand nord de la Russie plus d'une vingtaine de personnes ont été contaminées à la maladie du charbon, une infection jamais observée depuis les années 1940, pour cause le dégel du pergélisol qui a laissé échapper des bacilles mortels qui ont contaminé un troupeau de cerfs avant de les transmettre à l'homme. Du côté de la Sibérie, des chercheurs auraient découvert il y a de cela quelques années des bactéries et virus emprisonnés dans le pergélisol depuis des milliers d'années. Au regard de ces différents éléments, il est évident que la réapparition et la transmission à l'homme d'une telle épidémie, si elle s'avère d'un taux de contagions et de létalité importants pourraient donner lieu à une crise sanitaire d'une grande ampleur. Suite aux différents progrès dans le domaine médical, de la prise en charge et le traitement de plusieurs maladies, l'humanité a ces derniers moments semblés perdu de vue le risque épidémiologique lié au réchauffement climatique à cette ère du développement des relations économiques et sociales qui transcendent même les frontières continentales. L'apparition de la pandémie de la covid 19 a démontré à suffisance une vulnérabilité de l'humanité face au risque épidémiologique. Les conséquences portent aussi sur les domaines sanitaires, sociaux qu'économiques.

FIGURE 2.12 – impacts sur le PIB Covid 19



Sources : FMI (2010, 2021a), repris du rapport de l'OMC sur la résilience

2.3.4 Introduction aux modèles épidémiologiques SIR

Les gouvernements se demandent comment comprendre et gérer l'épidémie. Les modèles épidémiologiques permettent de comprendre et de gérer l'épidémie mais ne prennent pas en compte son impact sur l'activité économique. Pourtant il y a une interaction entre l'évolution de l'épidémie et les décisions économiques des agents économiques (et vice-versa).

Par exemple, les agents économiques par souci de se protéger et de protéger les autres, changent de comportement et réduisent leurs activités de travail et/ou de consommation qui peut les amener à avoir des contacts qui sont susceptibles de les exposer à l'épidémie.

En réalité, l'équation que cherchent à résoudre les responsables politiques est de limiter la propagation de l'épidémie par des mesures d'endiguement (qui sont très souvent restrictives) et qui limitent l'activité économique, mais aussi de prévoir et contrôler les effets récessifs de l'épidémie et les inégalités qu'elle peut engendrer ; à moyen terme d'éviter une crise économique, un chômage qui perdure, un retour lent de la production à son niveau potentiel. Il s'agit donc d'une part, d'un meilleur compromis entre contrôler la circulation du virus et maintenir un niveau d'activité économique et d'autre part, trouver la bonne recette de politiques sociales visant à garantir un certain pouvoir d'achat au ménages, protéger les entreprises de possibles faillites, protéger les emplois et ainsi faciliter le retour de la production à son niveau de long terme. Plus simplement, nous poserons une fonction $U(.)$ du bien-être de la population. Cette fonction est donc liée

- négativement à l'évolution et au taux de circulation du virus au sein de la population et
- négativement à la baisse du niveau de vie de la population et de la baisse du niveau de production suite aux mesures restrictives
- Positivement avec les mesures sociales (limitation des inégalités et pauvreté engendrée par l'épidémie).

Les agents économiques réduisent leurs activités économiques pour se protéger de l'épidémie mais ne le font pas assez. Il y a une défaillance de marché quant au niveau optimal d'activité que les agents économiques veulent maintenir par peur d'être contaminés. En effet, la population des susceptibles est divisée en plusieurs sous populations, certaines qui sont plus vulnérables au virus et d'autres qui le sont moins. De plus, les agents économiques supposent le taux de circulation du virus comme étant fixé et minimisent leur impact marginal sur la circulation du virus, surtout pour les porteurs asymptomatiques. Pourtant le comportement des agents collectivement pris est déterminant sur la vitesse de propagation de l'épidémie. Les populations les moins susceptibles font ainsi subir un coût supplémentaire aux plus susceptibles. Face à cette externalité négative des agents, l'intervention du décideur public est donc nécessaire afin d'établir un équilibre Pareto-optimal du niveau d'activité (des contacts). En cas de taux de létalité dépassant un certain seuil, l'équilibre concurrentiel peut être plus récessif car les agents internalisent un taux de létalité plus élevé. L'approche de Eichenbaum et al. (2021) permet donc d'intégrer le modèle épidémiologique et macroéconomique dans un seul pour une meilleure compréhension de leur interaction.

Le modèle épidémiologique

Nous nous intéresserons à la variante la plus simple du modèle SIR-MACRO, qui fait l'hypothèse de l'absence d'un traitement ou d'un vaccin et de la capacité limitée des soins de santé. Dans le modèle, pour que l'épidémie prenne fin, il faut qu'une partie importante de la population acquiert l'immunité (l'immunité collective), en l'absence de vaccin une grande partie de la population doit être infectée et guérir de la maladie. Ce qui implique que pour des épidémies à fort taux létale et en l'absence d'un traitement, il peut y avoir plusieurs pertes en vies humaines avant d'atteindre cette immunité collective. La gestion d'une épidémie telle que la Covid 19 revient donc à circonscrire très rapidement l'épidémie, mettre en quarantaine toutes les personnes susceptibles d'avoir été en contact avec l'agent pathogène. Si cette méthode est efficace (le cas par exemple de la chine ou l'épidémie à éclater), elle peut être très liberticide et contraignante, car contenir un agent pathogène aussi contagieux que le Covid 19 peut s'avérer difficile pour accompagner de façon intelligente la population vers une immunité collective. Plus concrètement, en période de forte circulation de l'agent pathogène, le nombre de malades augmente et les limites des structures de santé étant fixes sont atteintes, ce qui entraîne un taux de létalité important de l'épidémie (la probabilité pour un patient de mourir de l'épidémie augmente). Tandis qu'en baisse de la vague de contaminations, il peut être judicieux de maintenir l'activité économique, ce qui peut permettre de rehausser le niveau de production et de conduire plus rapidement à l'immunité collective. A l'approche de l'immunité collective, les mesures restrictives pourraient donc être levées étant donné qu'une grande partie de la population est insensible à l'épidémie. En présence d'un vaccin, les autorités ont intérêt à durcir les mesures barrières : limiter les nouvelles contaminations car le vaccin n'est efficace que pour des personnes pas encore infectées. Bien que le coût en termes de récession soit élevé, le bien-être collectif en termes de vies préservées peut être important. La courbe de circulation du virus chute rapidement à la seconde période (le temps que l'immunité s'installe, c'est à dire deux semaines) au fur et à mesure de la vaccination.

En présence d'un traitement Les mesures barrières peuvent être levées encore plus rapidement mais en fonction de la capacité d'accueil du système de soin. On assiste donc à une alternance de hausse et de baisse du nombre de cas (les vagues). On approche alors ainsi de l'immunité collective. Les mesures d'accompagnement social : - Pour les entreprises, des subventions, des prêts, des allègements d'impôt, etc. - Pour les ménages, des transferts, les chômages partiels

En reprenant les équations sur le comportement des agents économique en période d'épidémie (Eichenbaum et al. (2020)).

Équation 2.1 : La population maximise son utilité U .

$$U = \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i u(c_i, n_i)$$

Où : β représente le facteur d'actualisation compris entre 0 et 1, c_t et n_t sont respectivement la consommation et le nombre d'heures de travail à la date t .

La fonction d'utilité (u) d'un agent économique qui arbitre entre consommation et bien-être (ici sa santé) est donnée par l'équation 2.2.

Equation 2.2

$$u(c_t, n_t) = \ln c_t - \frac{\theta}{2} n_t^2$$

Sa contrainte budgétaire s'écrit, par l'équation 2.3.

Equation 2.3

$$(1 + \mu_t)c_t = w_t n_t + \Gamma_t$$

Avec w_t le taux de salaire réel, μ_t une taxe pigouvienne sur la consommation qui représente ici l'effet des mesures d'endiguement visant à réduire l'interaction sociale et Γ_t les transferts forfaitaires du gouvernement en faveur des ménages.

La condition de 1^{er} ordre s'écrit :

Équation 2.4 :

$$(1 + \mu_t)\theta n_t = c_t^{-1} w_t$$

La fonction de production d'une entreprise représentative est :

Équation 2.5 :

$$C_t = A N_t$$

L'entreprise représentative doit choisir le nombre d'heures qui maximise son profit :

Équation 2.6 :

$$\Pi_t = AN_t - w_t N_t$$

La contrainte budgétaire de l'Etat suite aux allocations qu'elles verse est :

Equation 2.7 :

$$\mu_t c_t = \Gamma_t$$

A l'équilibre du marché : $n_t = N_t$ et $c_t = C_t$

Le modèle SIR est un modèle compartimental de la population. Qui repartit la population en plusieurs compartiments. Dans sa version la plus simple, nous avons :

- S_t : les susceptibles (ceux qui sont les vulnérables à la maladie)
- I : les infectés qui peuvent à leur tour transmettre la maladie
- R_t : les repris, qui sont des personnes infectées puis guéries de la maladie qui ont de ce fait développé une immunité contre le virus
- D_t : les personnes infectées et décédées par suite de la maladie.

Au besoin de l'analyse, il est possible d'ajouter d'autres compartiments.

Les personnes peuvent être contaminées soit au cours d'une activité de production, de consommation ou d'une autre activité non économique (Equation 2.8).

Equation 2.8 :

le nombre de personnes nouvellement infectées dans le processus de consommation est donnée par :

$$\pi_1(S_t C_t^s) = (I_t C_t^i)$$

et le nombre de personnes nouvellement infectées au cours des activités professionnelles (en travaillant) par :

Équation 2.9 :

$$\pi_2(S_t N_t^s) = (I_t N_t^i)$$

les personnes infectées hors activité de production ou de consommation, donne le nombre de personnes infectées hors activité économique :

Equation 2.10 :

$$\pi_3(S_t I_t)$$

Le total de personnes nouvellement infectées est obtenu en faisant la somme :

Équation 2.11 :

$$T_2 = \pi_1(S_t C_t^s) + (I_t C_t^i) + \pi_2(S_t N_t^s) + (I_t N_t^i) + \pi_3(S_t I_t)$$

A la date $t + 1$, on a la population des personnes susceptibles :

Équation 1.12

$$S_{t+1} = S_t + T_t$$

La population des infectés à la date t est calculer par :

Équation 2.13 :

$$I_{t+1} = I_t + T_t - (\pi_r + \pi_d)I_t$$

Avec π_r et π_d sont respectivement la probabilité qu'une personne infectée se Rétablit et la probabilité qu'une personne infectée en décède. Le nombre de personnes ayant été infectées et guéries de la maladie (donc Immunisées) :

La population des récupérés par :

Équation 2.14

$$R_{t+1} = R_t + \pi_r I_t$$

Le nombre de personnes décédées de l'épidémie :

Équation 2.15

$$D_{t+1} = D_t + \pi_d I_t$$

L'ensemble de la population à la date $t+1$:

Équation 1.16

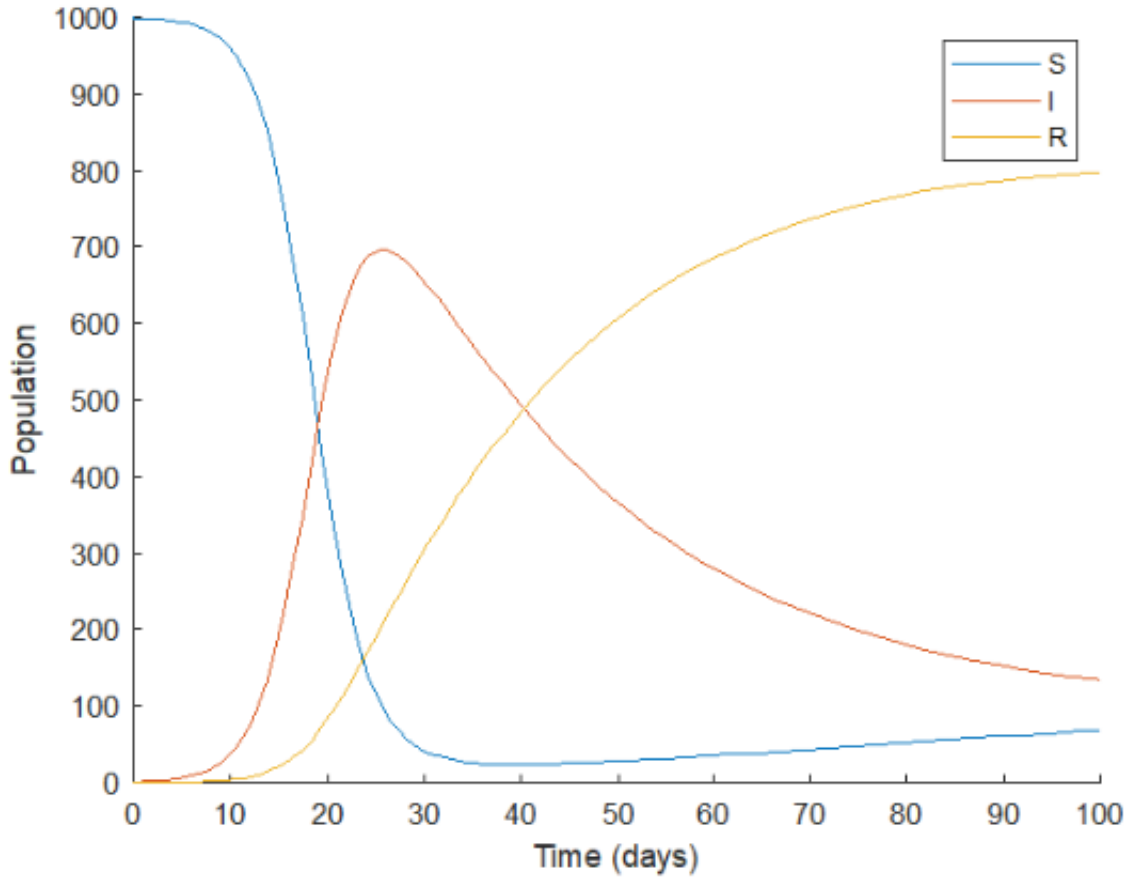
$$Pop_{t+1} = Pop_t + \pi_d I_t$$

On pose $Pop_{t_0} = 1$ (c'est-à-dire 100%)

Une fraction de personnes est exposée au virus : $I_0 = \epsilon$

La population des susceptibles est alors de : $1 - \epsilon$

FIGURE 2.13 – Le modèle SIR en graphique



source: Jessica Yen, Final Projects spring

La contrainte budgétaire de chaque personne du type j ($j = s, i, r$) s'écrit :

Équation 2.17

$$(1 + \mu_t)c_t^j = w_t\phi^j n_t^j + \Gamma_t$$

Avec Φ_j la productivité de l'agent j . avec $\Phi_s = \Phi_r = 1$ et $\Phi_i < 1$ (la productivité des Infectées est faible).

Ainsi, par la maximisation de l'utilité de chaque agent dans l'économie. Il est possible de déterminer le niveau d'activité optimale compte tenu de l'épidémie. Par la prise en compte du coût supplémentaire qui s'impose aux agents et qui va dépendre de taux de contagions et de mortalité. Le niveau d'activité optimal (en période de pandémie) sera en

dessous donc du niveau d'activité initiale (sans choc pandémique).

Le niveau d'activité fixé par les agents économiques n'est pas optimal du fait des externalités qui existent dans l'économie. Des personnes moins sensibles à l'épidémie (par exemple les plus jeunes) préféreront un niveau d'activité au-dessus de l'optimum (entretiennent la circulation du virus) et les personnes plus sensibles en dessous du niveau optimal, ce qui pénalise le niveau de l'activité. L'intervention du décideur public est donc nécessaire en situation de pandémie afin de fixer le niveau d'activité qui maximise le bien être de toute la société. Il est possible d'utiliser à cette fin le contrôle optimal, qui permet, à travers des variables contrôles qui sont dans ce cas précis les mesures d'endiguement et de distanciation de minimiser sous contrainte certaines fonctions (variables d'état) telles que la circulation du virus, le niveau des vagues, le coût économique ou encore le coût humain.

2.4 quelle reprise économique pour un développement durable ?

Les objectifs du développement durable vision 2030

Les objectifs du développement durable (ODD), ont été adoptés le 25 septembre 2015 à l'occasion du sommet international sur le développement durable à New York qui a réuni l'assemblée générale de l'organisation autour des objectifs du millénaire pour le développement. Les ODD se veulent ambitieuses pour l'atteinte d'ici 2030 les dix-sept objectifs (Programme des Nations Unies pour le Développement). Ces dix-sept objectifs sont intégrés et ce qui fait que la réalisation de l'un contribue à la réalisation des autres objectifs. Ces objectifs sont :

1. La lutte contre la pauvreté : cet objectif est ici d'éradiquer toutes les formes de pauvreté et pour toutes les couche de la société. Même si le nombre de personnes vivant en dessous du seuil de la pauvreté a baissé de plus de 50%, le défis reste toujours de taille car 736 millions de personnes dans le monde vivent en dessous du seuil de pauvreté selon les Nations Unies.
2. La lutte contre la faim : il existe encore dans différentes parties de la planète (surtout en Afrique et en Amérique du sud) des personnes qui souffrent de sous nutrition. L'élimination de la faim surtout dans les pays les plus pauvres permet de réduire la vulnérabilité face aux catastrophes, de faire reculer la mortalité infantile, pour promouvoir le développement.
3. L'accès aux soins de santé : avec le développement de la médecine, la mortalité infantile a baissé, la prise en charge de certaines maladies comme le sida est assurée,

mais dans beaucoup de parties du monde l'accès à un soin approprié reste limité. Il faut œuvrer à faire bénéficier à toutes les couches sociales de ces services vitaux.

4. L'éducation pour tous : une éducation de qualité est le gage d'un avenir meilleur et le moteur du développement d'un pays. Il est du devoir de tous de faire bénéficier aux jeunes générations d'une éducation de qualité sans aucune distinction.
5. L'égalité de sexe : la promotion de l'égalité des chances entre filles et garçons, la lutte contre toutes les sources d'inégalité genrée est un autre moteur du développement d'un pays. L'égalité de sexe doit être effective dans le noyau même de la société, c'est à dire la famille.
6. L'accès à l'eau : pour 40% de la population mondiale, accéder à une source d'eau potable reste un défi, pourtant l'accès à cette ressource est vital.
7. Énergie propre et d'un coût abordable : l'accès aux formes modernes d'énergie peut améliorer de nombreux aspects de la vie quotidienne. Des systèmes de santé améliorés, des services de santé et d'éducation qui fonctionnent bien et des transports et des télécommunications efficaces dépendent tous d'un approvisionnement fiable en électricité.
8. Travail décent et croissance économique : encourager les politiques qui favorisent l'esprit d'entreprise et la création d'emplois, tout comme les mesures qui balaient le travail forcé, l'esclavage et la traite des êtres humains.
9. Industrie, innovation et infrastructure : les progrès technologiques ont également permis de développer des solutions durables aux défis économiques et écologiques. Il faut donc favoriser les industries durables et investir dans la recherche scientifique et l'innovation.
10. La réduction des inégalités : l'inégalité des revenus a augmenté presque partout au cours des dernières décennies, à des allures différentes. La montée de ces disparités fait appel à des mesures saines pour autonomiser les personnes à faible revenu et promouvoir l'inclusion économique pour tous, sans distinction de sexe, de race ou d'origine ethnique.
11. Villes et communautés durables : c'est créer des opportunités de carrière et d'affaires, construire des logements, bâtir des sociétés et des économies résilientes. Ce qui implique l'investissement dans les transports en commun, la création des espaces publics verts.
12. Consommation et production responsables : encourager l'industrie et les consommateurs à recycler et à réduire les déchets. Réduire de moitié le gaspillage alimentaire mondial par habitant pour les détaillants et les consommateurs.
13. Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques : le réchauffement climatique provoque des changements durables dans notre système climatique avec des conséquences irréversibles si nous n'agissons pas maintenant.

14. Vie aquatique : le cadre prévoit également l'atténuation des impacts océaniques. Accroître la conservation et l'utilisation durable des ressources par le biais du droit international contribuera également à atténuer certains des défis auxquels nos océans sont confrontés.
15. Vie terrestre : agir pour réduire la perte des habitats naturels de la biodiversité qui font partie de notre patrimoine commun, Sécurité alimentaire et hydrique mondiale, changement climatique et adaptation, ainsi que paix et sécurité.
16. Paix, justice et institutions efficaces : en réduisant considérablement toutes les formes de violence, et trouver des solutions durables aux conflits et à l'insécurité. Réduire le commerce illégal d'armes et la promotion des droits de l'homme.
17. Partenariats pour la réalisation des objectifs : les objectifs sont d'améliorer la coopération Nord-Sud et en soutenant les plans nationaux pour atteindre tous les objectifs. Promouvoir le commerce international et aider les pays à augmenter leurs exportations.

2.5 La gouvernance de la transition écologique et gestion des catastrophes

Partant du constat que le changement climatique augmente la fréquence, l'intensité et l'étendue spatiale des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, il est important de préciser que les impacts ne touchent pas toutes les populations à l'intérieur d'un même pays de la même manière. Si les populations les plus modestes, les plus vulnérables, celles qui profitent moins des ressources de la planète, sont les plus exposées, les différentes économies ne sont pas non plus impactées de la même manière. Les économies les moins avancées qui sont en général dépendantes d'exportations de leurs matières premières, sont les plus exposées. Par exemple, une perturbation importante de température ou de précipitation peut entraîner des pertes agricoles importantes. Tandis que les économies les plus industrialisées et qui sont les plus énergivores (donc pollueurs) sont à même de faire face, au même type de choc. Il existe donc aussi un risque d'exclusion et de creusement des inégalités sociales. Une accentuation de la pauvreté, l'insécurité alimentaire et la réduction à néant de plusieurs années de progrès en termes de développement pour les économies les moins avancées. En guise d'illustration, une exposition aux inondations, à l'insécurité alimentaire peut être source de dégradation sanitaire, de perte de revenu. Ces différents facteurs réunis entraînent une vulnérabilité plus importante face à d'autres catastrophes naturelles à venir, d'autant plus que d'après les prévisions de différents chercheurs, notamment celles de la World Weather Attribution, ces phénomènes ne feront que s'accroître dans le temps. La résilience et la réduction des risques liés à ces catastrophes s'inscrivent donc en droite ligne dans la réalisation des objectifs de lutte contre la pauvreté et contre

les inégalités sociales adoptée dans les objectifs de développement durable (ODD 2030). Pour ce faire, les politiques de développement doivent être les plus inclusives possibles pour permettre de garantir l'amélioration des conditions de vie et de travail, l'accès aux marchés et à des services de base pour les plus défavorisés. A l'absence d'action en faveur de ces couches sociales les plus exposées, on peut s'attendre à un cercle vicieux qui exacerbe la pauvreté et les inégalités sociales (objectifs 1 et 10 Objectifs Développement Durable 2030).

2.6 Le rôle des politiques publiques dans la transition écologique

Verdissement de l'économie

Au niveau des Etats, il est important que les Etats prennent la tête dans la marche vers la transition (écologique, numérique notamment), qu'elles prennent conscience de la rupture et ne plus financer des projets qui présentent moins de perspectives : contestés ou pas écologiques (central à charbon par exemple, car la tendance est aux énergies propres). D'initier des politiques structurelles en adéquation avec les nouveaux défis, et coordonner les actions, notamment dans le cadre de l'Union Européenne.

Il faut déterminer à court terme, les sentiers du réalisable, les possibilités d'adaptation (en fonction des connaissances disponibles, des avancées technologiques présentes, ceux qui sont proches d'être développées).

CONCLUSION

La résilience économique est un concept qui est de plus en plus utilisé aujourd'hui. Il fait allusion à la faculté qu'à une économie d'absorber le choc suite à une crise, de rebondir rapidement et de se transformer de manière à faire face efficacement à l'émergence d'autres chocs. Les catastrophes, selon leurs origines, n'impactent pas les économies de la même manière. La covid 19, comme exemple de catastrophes sanitaires a eu un impact brusque suivi d'une reprise rapide, tandis que la crise de 2008, comme exemple de crises financières a plutôt eu un impact progressif mais durable sur la quasi-totalité des économies. Le réchauffement climatique, avec son cortège de phénomènes extrêmes, donne lieu à des catastrophes naturelles qui peuvent se combiner à d'autres facteurs pour laisser place à des chocs complexes. Il est donc important aujourd'hui de non seulement comprendre l'impact de ces chocs et les facteurs de résilience des économies pour une meilleure adaptation et procéder à des transformations qui sont la garantie d'une croissance soutenable. La recherche de cette résilience économique est en adéquation avec les grands objectifs de développement durables. Les différents efforts en termes de recherches de sources d'énergies alternatives pour réduire la dépendance à nos sources actuelles, permet de chercher du côté des énergies vertes, c'est l'objectif des gouvernements et des instances de réflexions et de décisions. La commission de l'UE a ainsi mis en place son tableau de bord de la résilience économique qui prend en compte les aspects de la transition écologique et énergétique. Ce cadre propice au changement pousse tous les acteurs (entreprises, Etats, institutions), à oeuvrer afin d'être au rendez-vous. L'intelligence artificielle qui connaît un développement important de nos jours peut nous permettre de mettre en place des systèmes d'alertes précoces (SAP) afin de détecter les facteurs de vulnérabilité, mais aussi des indicateurs à prendre en compte pour de meilleurs résultats. Les cartes auto-organisatrices et les arbres de décisions font partie de ces algorithmes de l'intelligence artificielle aujourd'hui à la disposition des économistes.

Bibliographie

- Barthélémy, S., Binet, M.-E., and Pentecôte, J.-S. (2020). Worldwide economic recoveries from financial crises through the decades. *Journal of International Money and Finance*, 105 :102204.
- Bousebata, M., Girard, S., and Enjolras, G. (2019). Estimation bayésienne des mesures de risques naturels extrêmes. application à l’assurance du risque agricole. In *Assises Nationales des Risques Naturels 2019*, page 1.
- Carlson, C. J., Albery, G. F., Merow, C., Trisos, C. H., Zipfel, C. M., Eskew, E. A., Olival, K. J., Ross, N., and Bansal, S. (2022). Climate change increases cross-species viral transmission risk. *Nature*, pages 1–1.
- Coline, D. (2020). Analyse swot-tesla-publié le 16/12/2020. *Publications Études & Analyses*.
- Commission, E. (2021). The eu’s 2021–2027 long-term budget and next generation eu. facts and figures.
- Debré, P. (2020). Épidémies : Leçons d’histoire.
- Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., and Trabandt, M. (2020). Epidemics in the neoclassical and new keynesian models. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Eichenbaum, M. S., Rebelo, S., and Trabandt, M. (2021). The macroeconomics of epidemics. *The Review of Financial Studies*, 34(11) :5149–5187.
- El Hage, M., Faour, G., and Polidori, L. (2011). L’impact de l’elevation du niveau de la mer (2000-2100) sur le littoral libanais une approche par teledetection et cartographie diachronique. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* n, 194(2) :36.
- Hallegatte, S. and Dumas, P. (2010). Impact macroéconomique des catastrophes naturelles : mécanismes d’amplification et frein au développement.
- Hariri, N., Nader, R. B., Alaa-Eddine, T., Al-Dirani, A., Bekdache, N., Buccianti-Barakat, L., Chamoun, Y., Feghali, Y., Ghantous, T., Haidar, J., et al. (2021). *Évaluation*

d'impact de l'explosion du port de Beyrouth. PhD thesis, Institut français du Proche-Orient (Ifpo).

Kopoboru Aguado, S. M. (2019). *Les impacts de catastrophes. Une réflexion autour des risques*. PhD thesis, University of Geneva.

Little, E., Biehler, D., Leisnham, P., Jordan, R., Wilson, S., and LaDeau, S. (2017). Socio-ecological mechanisms supporting high densities of *aedes albopictus* (diptera : Culicidae) in baltimore, md. *Journal of medical entomology*, 54(5) :1183–1192.

Locatelli, B. (2011). *Les synergies entre adaptation et atténuation en quelques mots*. CIFOR.

Pielke Jr, R. A., Gratz, J., Landsea, C. W., Collins, D., Saunders, M. A., and Musulin, R. (2008). Normalized hurricane damage in the united states : 1900–2005. *Natural Hazards Review*, 9(1) :29–42.

Redaud, J.-L., Noilhan, J., Gillet, M., Huc, M., and Begni, G. (2002). Changement climatique et impact sur le regime des eaux en france. *Paris, rapport, MEDD/MIES*.

Reghezza, M. (2006). La vulnérabilité : un concept problématique. *F. Léone et F. Vinet, La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques, Montpellier, PULM, coll. Géorisque*, 1 :35–40.

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., et al. (2017). The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications : an overview. *Global environmental change*, 42 :153–168.

Sarlin, P. (2011). Sovereign debt monitor : A visual self-organizing maps approach. In *2011 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics (CIFEr)*, pages 1–8. IEEE.

Zheng, W. Y., Kanesarajah, J., Waller, M., McGuire, A. C., Treloar, S. A., and Dobson, A. J. (2016). Childhood adversity and traumatic exposures during deployment as predictors of mental health in australian military veterans. *Australian and New Zealand journal of public health*, 40(1) :10–15.

Autres ressources consultées

Rapport évaluation post désastre en Haïti, séisme du 14 Août 2021 dans la péninsule du sud, Ministère de la planification et de la coopération externe Haïti

La résilience en trois actes: resistance, reset et relance, Havard Business Review

Les Objectifs du Développement durable 2030

INSEE, point de conjoncture mai 2022

Les chiffres clés du climat, Ministère de la Transition Ecologique

Rappport du commerce mondial 2021, OMC

Annexe A

Annexe : codes programme

A.1 Première Etape

```
# -----  
#  
# Quelques packs  
#  
# -----  
  
#install.packages('zoo',repos="http://cran.univ-lyon1.fr")  
#install.packages('mFilter',repos="http://cran.univ-lyon1.fr")  
#install.packages('som',repos="http://cran.univ-lyon1.fr")  
#install.packages('xlsx',repos="http://cran.univ-lyon1.fr")  
#install.packages('plyr',repos="http://cran.univ-lyon1.fr")  
#install.packages('ggplot2',repos="http://cran.univ-lyon1.fr")  
#install.packages('kohonen',repos="http://cran.irsu.fr/")  
  
# -----  
  
library(zoo)  
library(mFilter)  
library(openxlsx)  
library(plyr)  
library(ggplot2)
```

```

wd1 = getwd()
setwd(wd1)

# -----
# Lecture des donnees OCDE
# -----

prodind = read.xlsx("prodind_ocde.xlsx", sheet = "series")
head(prodind)

ts.prod <- ts(prodind[,-1], start = c(1990,1), frequency = 4)
head(ts.prod)

# -----
# Preparation du dataset GDP
# -----

dbogap <- NULL
dbgdp <- NULL

for(i in 1:ncol(ts.prod)) {

#       ct = format(k$Code[i])
#       y  = k$Year[i]
  y = c(2020,1)
  x  = ts.prod[,i]

  if( length(x) > 36) {

    # --- profils des output gap
    x      = na.approx(x)
    pot    = hpfiltre( na.omit(x), freq=1600)$trend
    ogap   = log(x/pot) * 100

    profile <- window(ogap,y-c(0,8),y+c(0,7),extend=T)

    cur     <- cbind(colnames(ts.prod)[i], t(as.vector(profile)) )
  }
}

```

```

        dbogap <- rbind(dbogap,cur)

    }
}

write.table(dbogap, file ="resilience.csv", sep=";")

# -----
#
# Les profils globaux: real per capita PIB et OGAP (sur 8 ans)
#
# -----

myColMeans <- function(x) {
    xm = sapply(x,mean)
    for(i in 1:ncol(x)) {
        xm[i] = mean(na.omit(x[,i]))
    }
    xm
}

myColSDs <- function(x) {
    xm = sapply(x,sd)
    for(i in 1:ncol(x)) {
        xm[i] = sd(na.omit(x[,i]))
    }
    xm
}

##### fin provisoire #####
dbfull <- na.omit(dbogap[,-1])
dbfull <- as.numeric(dbfull)
dbfull <- matrix(dbfull, nrow=36, ncol=16)

profil.moyen <- NULL
profil.moyen <- colMeans(dbfull)
write.table(profil.moyen,"resilience_moyennes_ogap.csv",sep=";")
plot.ts(profil.moyen)

```

```

profil.dispersion <- myColSDs(dbogap[,-1])
write.table(profil.dispersion,"resilience_{}_dispersions_{}_ogap.csv",sep=";"
)

p.sd <- profil.dispersion[1:16]
p.m <- profil.moyen

p.sup <- p.m + 2 * p.sd
p.inf <- p.m - 2 * p.sd
prof <- cbind(p.m, p.inf, p.sup)
ts.plot(prof, col = c(1,2,3))

```

A.2 Seconde étape

```

install.packages("som")
library(som)

# -----
#
# PROFILE IDENTIFICATION (SOM, k-Means,...) on CF-filtered series
#
# -----

dbf <- na.omit(dbogap)
dbf.pays <- dbf[,1]
dbf.pays

# --- som sur donnees disponibles seulement
xs <- som(dbfull, 2, 3, topol="rect")
plot(xs, ylim = c(-22,17))
cpays <- na.omit(dbogap)[,1]
cpays
write.table(cbind(cpays,xs$code.sum),"resilience-SOM22ogap.csv",sep=";"
)

# -----

# Analyse de la repartition des profils SOM

```

```

# (version OGAP, a ajuster pour PIB)
# trop normatif ! a ajuster pour automatiser
#
# -----

mapping <- cbind(xs$visual, dbf.pays)
m1 <- mapping[(mapping$x==0)&(mapping$y==0),] # W
m2 <- mapping[(mapping$x==1)&(mapping$y==0),] # S

m3 <- mapping[(mapping$x==0)&(mapping$y==1),] # P
m4 <- mapping[(mapping$x==1)&(mapping$y==1),] # S

m5 <- mapping[(mapping$x==0)&(mapping$y==2),] # P
m6 <- mapping[(mapping$x==1)&(mapping$y==2),] # S

S.shape <- rbind(m2, m4, m6)
write.table(S.shape, "Swift-rebound.csv", sep=";")
table(S.shape[,1], S.shape[,2])

P.shape <- rbind(m3, m5)
write.table(P.shape, "Partial-rebound.csv", sep=";")
table(P.shape[,1], P.shape[,2])

W.shape <- m1
write.table(W.shape, "Weak-rebound.csv", sep=";")
table(W.shape[,1], W.shape[,2])

resilience = NULL
resilience <- data.frame(pays = dbf.pays, SOMGRP=factor(paste(xs$visual$x
, xs$visual$y, sep=":")),
                        rebound = rep("Z", length(dbf.pays)))
head(resilience$SOMGRP)
str(resilience)

for(i in 1:nrow(resilience)) {
  if(resilience$SOMGRP[i] == "0:0") resilience$rebound[i]="W"
  if(resilience$SOMGRP[i] == "1:0") resilience$rebound[i]="S"

  if(resilience$SOMGRP[i] == "0:1") resilience$rebound[i]="P"

```

```

    if(resilience$SOMGRP[i] == "1:1") resilience$rebound[i]="S"

    if(resilience$SOMGRP[i] == "0:2") resilience$rebound[i]="P"
    if(resilience$SOMGRP[i] == "1:2") resilience$rebound[i]="S"
}

write.table(resilience,"SOM23-resilience-decomp.csv",sep=";")

View(resilience)

#####

install.packages("kohonen")
library(kohonen)

# Create grid to be used for the SOM
iris_grid <- somgrid(xdim = 5, ydim = 5, topo = "hexagonal")

# Set seed to ensure reproducibility
set.seed(2021)

# Use the SOM function
xs_2 <- som(X = dbfull, 2, 3, grid = iris_grid)

# Plot our results
# Plot type 1: counts
plot(xs_2, type = "counts")

# Plot type 2: heatmap
plot(xs_2, type = "property",
     property = getCodes(xs_2)[, 2])

# Plot type 3: fan diagram
plot(xs_2, type = "codes")

```

A.3 Troisieme Etape

```

library(readxl)
#tsA_ocde <- read_excel("dtA_ocde.xlsx", sheet = "dtA_ocde")
tsA_ocde <- read.csv("dtA_ocde.csv", header=TRUE, sep=";")
View(tsA_ocde)

noms.var <- unique(tsA_ocde$weo.ind)
noms.var

pays <- unique(tsA_ocde$iso.code)
pays

tsA_val <- tsA_ocde[,5:ncol(tsA_ocde)]
View(tsA_val)
str(tsA_val)

dt.cr <- 2020
macro <- NULL

for (v in 1:length(noms.var)) {
  nb.inf <- (v-1) * length(pays) + 1
  nb.sup <- v * length(pays)
  tser <- ts(t(tsA_val[nb.inf:nb.sup,]), start = 1990, frequency = 1)

  c.inf <- (dt.cr - 1990) - 4
  c.sup <- (dt.cr -1990) + 6
  tsr <-t(tser[c.inf:c.sup,])
  colnames(tsr) <- rep(noms.var[v], 11)

  macro <- cbind(macro, tsr)
}

ncol(macro)
nrow(macro)
macro.p <- cbind(pays,macro)
pays.ref <- sort(pays)
View(macro.p)

s <- NULL
for (p in 1:length(pays.ref)) {

```

```

    sr <- which(macro.p[,1] == resilience[p,1])
    s <- rbind(s, sr)
}
s

fact.cart <- macro[as.numeric(s),]
data.frame(fact.cart)
fact.cart <- cbind(resilience, data.frame(fact.cart))
View(fact.cart)
ncol(fact.cart)
nrow(fact.cart)
is.na(fact.cart)
str(fact.cart)

#fact.cart <- na.omit(fact.cart)
View(fact.cart)
unique(names(fact.cart))

library(rpart)

res.cart1 <- rpart(rebound ~ cc.pib + govgdet.pib + govbal.pib + tx.epar
  + tx.inv + var.impg + tx.chom + tx.inf + var.exp, data = fact.cart,
  minsplit = round(nrow(fact.cart)/12), minbucket = round(nrow(fact.cart)
)/6))
summary(res.cart1)
cart.tab <- table(fact.cart[, "rebound"], predict(res.cart1 , fact.cart,
  type="class"))
cart.tab
acc <- round(sum(diag(cart.tab)) / sum(cart.tab)*100, 0)
acc
install.packages("rpart.plot")
library(rpart.plot)
rpart.plot(res.cart1, type = 1, trace = 1, varlen = 0, faclen = 0, main =
  paste("Facteurs de r[U+FFFD]silience (pertinence:", acc, "%)", sep="")
))
rpart.rules(res.cart1)

```



```

res.cart2 <- rpart(rebound ~ cc.pib + var.impg + var.exp + def.pib, data
  = fact.cart, minsplit = round(nrow(fact.cart)/12), minbucket = round(
    nrow(fact.cart)/8))
summary(res.cart2)
cart.tab <- table(fact.cart[, "rebound"], predict(res.cart2 , fact.cart,
  type="class"))
cart.tab
acc <- round(sum(diag(cart.tab)) / sum(cart.tab)*100, 0)
acc
rpart.plot(res.cart2, type = 1, trace = 1, varlen = 0, faclen = 0, main =
  paste("Facteurs_de_r[U+FFFD]silience_(pertinence:_)", acc, "%)", sep=""
  ))
rpart.rules(res.cart2)

res.cart3 <- rpart(rebound ~ + govndet.pib + govstrucbal.pib + tot.emp +
  + govprimnet.pib + tx.epar + tx.inv + tx.chom + tx.inf, data = fact.
  cart, minsplit = round(nrow(fact.cart)/12), minbucket = round(nrow(
    fact.cart)/8))
summary(res.cart3)
cart.tab <- table(fact.cart[, "rebound"], predict(res.cart3 , fact.cart,
  type="class"))
cart.tab
acc <- round(sum(diag(cart.tab)) / sum(cart.tab)*100, 0)
acc
rpart.plot(res.cart3, type = 1, trace = 1, varlen = 0, faclen = 0, main =
  paste("Facteurs_de_r[U+FFFD]silience_(pertinence:_)", acc, "%)", sep=""
  ))
rpart.rules(res.cart3)

#####
#####
#####

#library(xlsx)
#write.xlsx(fact.cart, file ="facteurs_macro.xlsx")
#fact.mac <- read.xlsx("facteurs_macro.xlsx", sheetName = "Sheet1")
#ncol(fact.mac)
#View(fact.mac)
#fact.mac <- na.omit(fact.mac[,4:212])

```

FIN CODE PROGRAMME

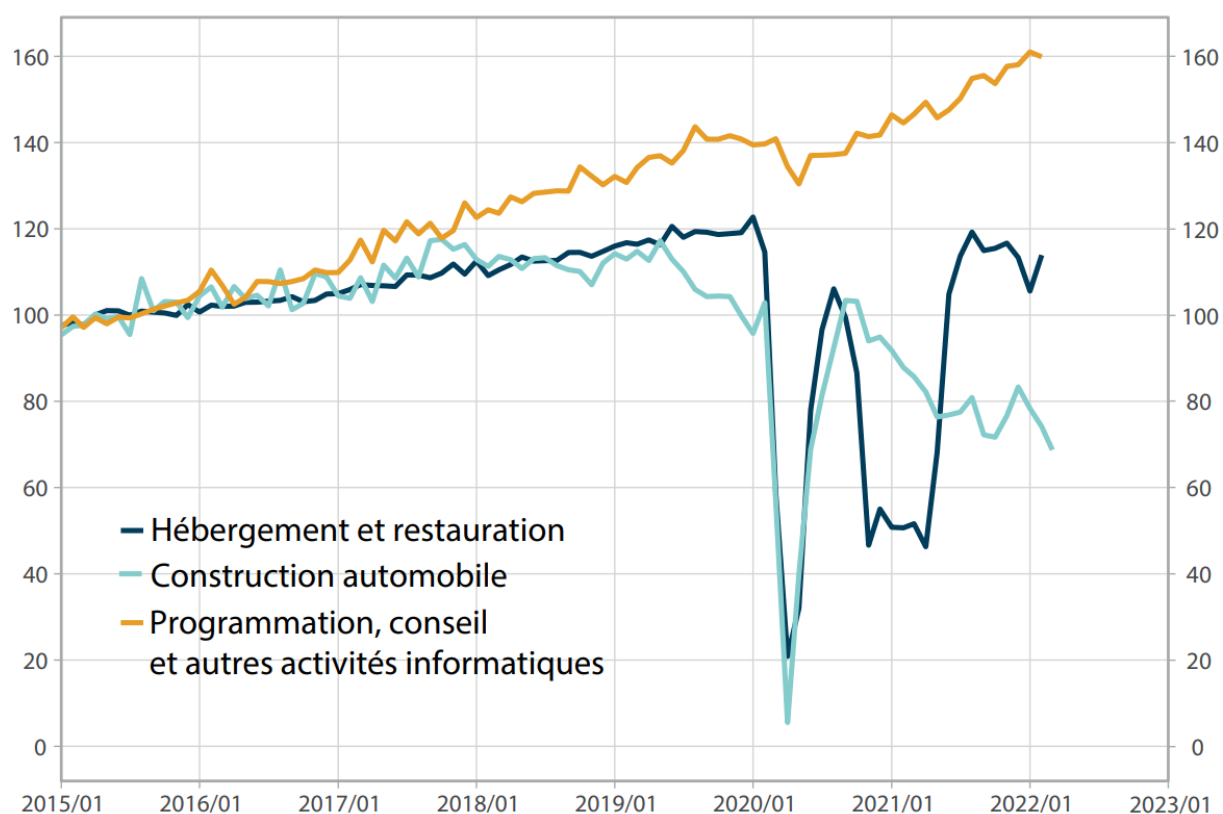
Annexe B

Annexe : tableaux et graphiques

TABLE B.1 – Repond par pays et type de reprise

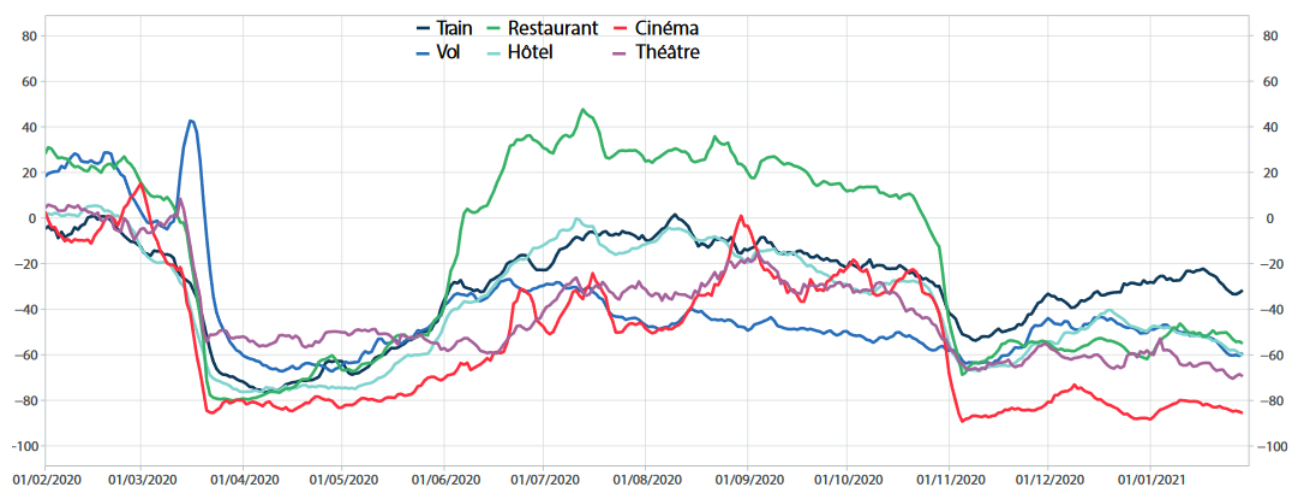
N	PAYS	Rebond	Resilience
1	AUS	<u>00:00</u>	W
2	AUT	<u>00:01</u>	P
3	BEL	<u>01:01</u>	S
4	CAN	<u>00:01</u>	P
5	CHL	<u>00:00</u>	W
6	COL	<u>01:02</u>	S
7	TCH	<u>01:01</u>	S
8	DNK	<u>00:01</u>	P
9	EES	<u>00:01</u>	P
10	FIN	<u>00:00</u>	W
11	FRA	<u>00:01</u>	P
12	ALL	<u>00:01</u>	P
13	GRE	<u>00:01</u>	P
14	HUN	<u>01:02</u>	S
15	IRL	<u>01:00</u>	S
16	ISR	<u>00:00</u>	W
17	ITA	<u>01:02</u>	S
18	JAP	<u>00:01</u>	P
19	KOR	<u>01:00</u>	S
20	LUX	<u>01:01</u>	S
21	NLD	<u>00:00</u>	W
22	NZL	<u>00:01</u>	P
23	NOR	<u>00:00</u>	W
24	POL	<u>01:01</u>	S
25	PRT	<u>01:02</u>	S
26	SLQ	<u>01:02</u>	S
27	SLV	<u>00:01</u>	P
28	ESP	<u>01:02</u>	S
29	SWE	<u>00:01</u>	P
30	CHW	<u>00:01</u>	P
31	TRK	<u>01:01</u>	S
32	UKM	<u>00:01</u>	P
33	USA	<u>00:01</u>	P
34	BRA	<u>01:01</u>	S
35	IND	<u>01:02</u>	S
36	RUS	<u>00:00</u>	W

FIGURE B.1 – Evolution production dans quelques branches



Source : INSEE, point de conjoncture mai 2022

FIGURE B.2 – Recherches internet sur les secteurs touchés après covid



Source : INSEE, point de conjoncture mai 2022

Table des figures

1.1	Ampleur du choc de 2008, France, Allemagne, USA et OCDE en pourcentage de PIB	16
1.2	BCE et FED, deux institutions deux modes de réactions aux chocs En Taux d'inflation	17
1.3	BCE et FED, deux institutions deux visions En taux d'intérêt	18
1.4	Le neurone gagnant	25
1.5	Regroupement des neurones par ampleur de la récession	28
1.6	Regroupement des neurones par reprise type	29
1.7	Les profils types de reprises crise financière et crise pandémique comparés	30
1.8	Les profils de reprises crise financière et crise pandémique comparées, évolution PIB par rapport à celui de 2015 (année référence) En taux de croissance du PIB réel	31
1.9	Profile de reprise économique (forte, moyenne ou faible) selon les pays . . .	32
1.10	Arbre de décision 1	34
1.11	Arbre de décision 2	34
1.12	Arbre de décision 3	35
2.1	fréquence des catastrophes (naturelles, technologiques et complexes)	40
2.2	Evolution des températures moyennes annuelles de 1900 à 2020 en °C . . .	47
2.3	Evolution de la température moyenne annuelle mondiale entre 1850 et 2020, données	48
2.4	Evolution de la température moyenne annuelle de la planète (1850 à 2020), données	48
2.5	Evolution du niveau moyen des mers depuis 1993 en cm	49
2.6	Scénarios d'évolution de la température de la planète en ° Celsius	51
2.7	Mix d'énergie dans le monde en %	53
2.8	déséquilibre entre émission de CO ₂ et capacité d'absorption par les puits (unité : Gt de CO ₂ par an	54
2.9	Concentration atmosphérique de CO ₂ en Partie Par Million (PPM)	55
2.10	Emission internationale de CO ₂ en Gt entre 1990 et 2018	55

2.11	émission de CO2 par habitant en tonne de CO2/hab	56
2.12	impacts sur le PIB Covid 19	57
2.13	Le modèle SIR en graphique	64
B.1	Evolution production dans quelques branches	84
B.2	Recherches internet sur les secteurs touchés après covid	85

Liste des tableaux

2.1	Occurrence des catastrophes par continent de 1900 à 2021	41
B.1	Repond par pays et type de reprise	84